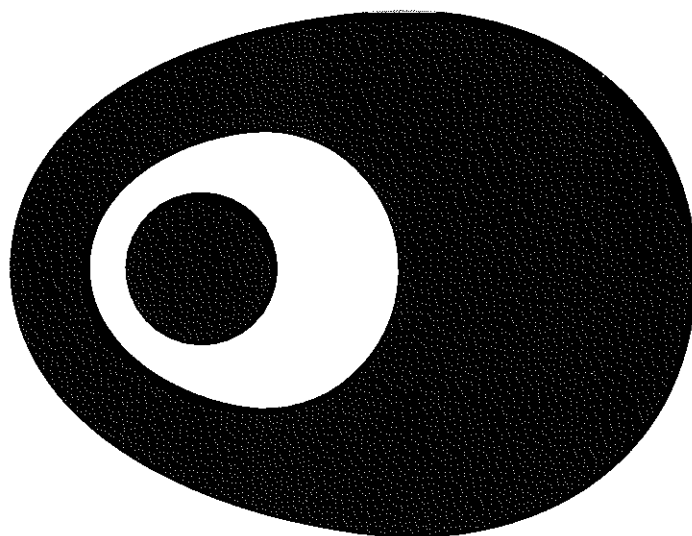


地層処分研究開発報告会（第6回）

地層処分研究開発第2次取りまとめの現状と今後

予稿集



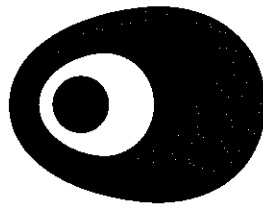
期 日 平成11年5月11日(火) 10:00~16:15

会 場 よみうりホール

主 催 核燃料サイクル開発機構

後 援 科学技術庁、通商産業省資源エネルギー庁

協 力 日本原子力研究所、通商産業省工業技術院地質調査所
科学技術庁防災科学技術研究所、(財)電力中央研究所
(財)原子力環境整備センター、電気事業連合会
高レベル事業推進準備会



古くから孔雀は毒蛇を食べると言われ、その孔雀を神格化した孔雀王は一切の毒を除き、また雨を降らせたり止ませたりする力を持つ明王として信仰を集めてきました。

このマークは、孔雀明王に因んで、孔雀の羽の模様を地層処分研究開発のシンボルとしてデザイン化したものです。

重ねられた円は、多重バリアシステムを表わしています。

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technical Cooperation Section, Technical Management Division, Japan Nuclear Cycle Development Institute, 4-49, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, Japan 319-1184

©核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

ご挨拶



理事長 都 甲 泰 正

核燃料サイクル開発機構は、国の方針に基づき、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の中核的推進機関として、自ら研究開発を進めるとともに、関係研究機関等のご協力を得て2000年前までに研究開発成果の取りまとめ（「第2次取りまとめ」）を行い、これを公表することとしております。

既に、平成4年の「第1次取りまとめ」によって、我が国の地層処分の安全確保を図っていく上での技術的可能性が明らかになったとされましたが、「第2次取りまとめ」では、地層処分の技術的信頼性を明らかにするとともに、実施主体が処分事業を進める上での処分子定地選定や、将来の安全規制における安全基準の策定に資する技術的拠り所を提示することとされております。

「第2次取りまとめ」にあたっては、作業の進捗に応じて成果を積極的に公表し、透明性を確保することが何よりも重要であり、これは地層処分の技術的信頼性に対する、専門家や国民各位の幅広いご理解とご支持を頂くための基礎であると考えております。

このため、昨年9月には「第2次取りまとめ」の第1ドラフトを国へ報告し、併せて、第5回地層処分研究開発報告会を開催し、専門家や国民各位に進捗状況をご報告するとともに、広くご意見をお伺いしてきたところであります。

今般、第1ドラフトに引き続き、更に技術的に詳細な内容を集約した第2ドラフトを取りまとめましたので皆様にご報告してご意見を賜わり、それを最終的な報告書に反映させてまいりため本報告会を開催することと致しました。

今回は「地層処分研究開発 第2次取りまとめの現状と今後」と題しまして、関係各位のご講演や関係研究機関の研究成果の展示発表を頂くなど、これまでも増して国や関係各機関との密接な協力のもとでの報告会と致しました。

皆様の活発なご議論により、本報告会が意義深いものとなりますようお願い申し上げますとともに、今後ともより一層のご協力とご指導、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

目 次

ご 挨 拶

理事長 都 甲 泰 正

1. 招待講演

- (1) 放射性廃棄物処分方策の現状について 1
科学技術庁 原子力局 廃棄物政策課長 青 山 伸
- (2) 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化に向けた検討状況について 4
通商産業省 資源エネルギー庁 原子力産業課長 鈴 木 正 徳
- (3) 高レベル放射性廃棄物処分の俯瞰工学 5
東京大学 教授 鈴 木 篤 之

2. 第2次取りまとめの進捗状況報告 7
2000年レポートチーム 部長 増 田 純 男

3. パネルディスカッション（地層処分の技術的信頼性） 17

◆講演者・座長・パネリスト紹介

◆参考資料

1. 招待講演

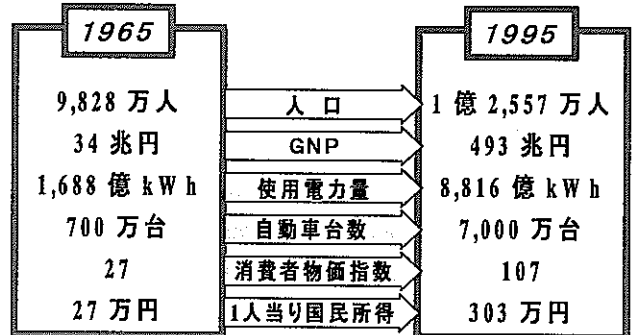
放射性廃棄物処分方策の現状について

科学技術庁原子力局
廃棄物政策課長 青山 伸

1. 原子力利用の例とその結果としての放射性廃棄物の発生

(1) 原子力発電

- ・我が国の商業用原子力発電は1965年に開始。
- ・この30年間、社会・経済活動が飛躍的なペースで拡大発展したことにより、エネルギー消費も急増。
- ・現在、原子力発電は我が国の発電量の約35%を占める。



我が国社会の移り変わり

(2) 医療

- ・重粒子線ガン治療装置、放射性医薬品

(3) 研究

- ・加速器、試験研究炉、R I 等の利用

(4) 工業

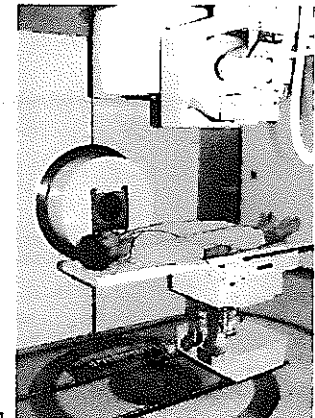
- ・非破壊検査、放射線照射による材料改質

(5) 農業

- ・ジャガイモの発芽防止、品種改良



研究利用の例 (Spring-8)



医療利用の例 (HIMAC)

- ◆我々は様々な分野で原子力利用による恩恵を受けているその反面、
- ◆利用に伴い発生した放射性廃棄物を処分する必要がある

2. 放射線の強さと人体への影響

(1) 日常生活の中にもある放射線

- ・自然放射線 (世界平均: 年間 2.4mSv)
- ・X線集団検診 (胃: 1回 0.6mSv、胸: 1回 0.05mSv)
- ・飛行機による旅行 (東京-ニューヨーク往復: 0.19 mSv) 等

(2) 放射線による人体への影響

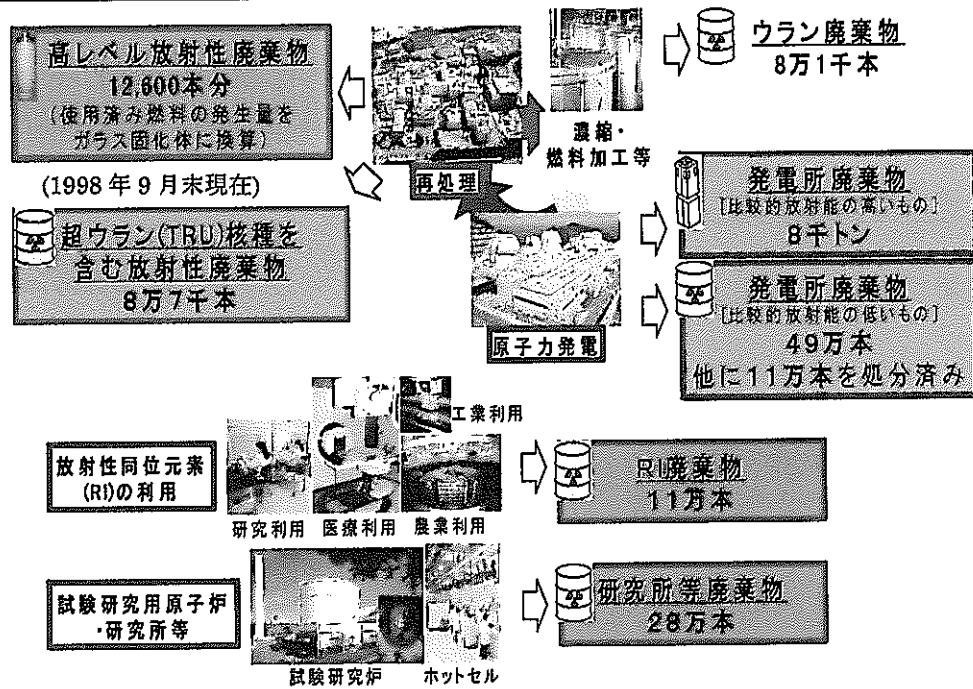
- ・短時間に多量の放射線を浴びると、人体に影響を及ぼす可能性がある。

(3) 放射線の影響を避けるために

- ①人間の生活環境から遠ざける。
 - ②放射線を遮るものを置く。
 - ③時間が経って、放射線量が減るのを待つ。
- これらによって、

- ◆日常生活の中にある放射線に比べて、十分低い放射線量に抑える。

3. 放射性廃棄物の種類と発生源



4. 放射性廃棄物処分の基本的考え方

◆廃棄物に含まれる放射性物質の量が、時間の経過に伴い減少して、安全上問題がなくなるまでの間、生活環境から安全に隔離する。

- 人間が放射性廃棄物と直接接触することを防ぐ。
- 放射性物質が生活環境に影響を及ぼすことを防ぐ。

5. 放射性廃棄物処分の方法

(1) 高レベル放射性廃棄物

◆長期間にわたり人間の生活環境から隔離する。

◎地層処分—他の方法と比較して最も問題点が少なく、好ましい方法として国際的に認識されている。

<比較検討された他の処分方式>

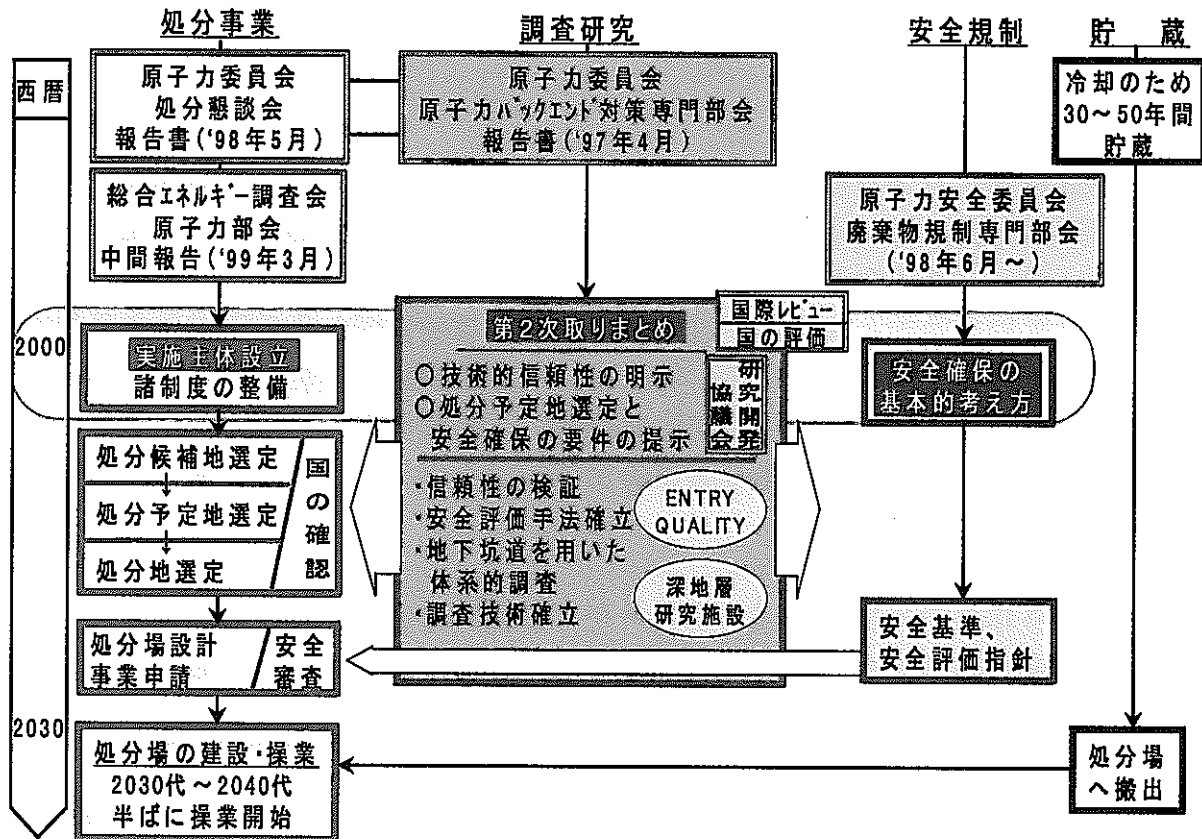
- ・宇宙処分—ロケット発射の信頼性、技術を有する少数の国のみ実施可能。
- ・海洋底処分—ロンドン条約で禁止。
- ・氷床処分—南極条約で禁止、大きな氷床の特性等に関する情報が少ない。
- ・超長期管理—将来の世代にまでも廃棄物監視の負担を負わせることになる。

(2) 低レベル放射性廃棄物

◆廃棄物中の放射能の強さにより、廃棄物を適切に区分。
◆生活環境への影響が十分軽減されるまで、人工バリア及び天然バリアと制度的管理によって廃棄物を隔離する。

- ・放射能の極めて低いもの—地表近くで埋設処分
- ・放射能の比較的低いもの—深さ数メートル程度の地中に埋設処分
- ・放射能の比較的高いもの—例えば深さ50~100メートル程度の地中に埋設処分

6. 高レベル放射性廃棄物の処分に向けた取組みの現状



処分懇談会 「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方」 (1998年5月)

- ◆われわれが発生させた廃棄物については、われわれの世代がその処分に関する制度を確立することが必要。
- ◆後世代に影響を及ぼす可能性のある廃棄物の処分について、後世代に負担を残さないことがわれわれの責務。

◆今できることに早急に着手しなければならない。

- 事業資金の確保 → 総合エネルギー調査会原子力部会
- 実施主体の設立 → 処分費用の合理的見積りと処分事業の在り方について調査審議 (1999年3月 中間報告)
- 処分に関する安全確保の基本的考え方 → 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会 安全確保の基本的考え方について調査審議中
- 深地層の研究施設 → サイクル機構 岐阜県及び北海道において計画中

◆国民の各層における議論が十分に行われ、国民の理解と信頼を得るための努力がなされなければならない。

→ 「放射性廃棄物シンポジウム」等の実施

高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化に向けた検討状況について

通商産業省資源エネルギー庁
原子力産業課長 鈴木 正徳

<検討経緯>

- 平成9年1月20日、総合エネルギー調査会は「もんじゅ」事故を契機とした原子力を巡る様々な議論を踏まえた報告書を取りまとめ、バックエンド対策について、「国民の強い批判を厳粛に受け止め、国及び事業者は、高レベル放射性廃棄物を始めとする放射性廃棄物処分の制度整備とその事業化を早急に進めていく必要がある」と指摘、特に高レベル放射性廃棄物処分対策については、2000年目途の実施主体の設立時において、「時金確保策や国の安全確保に対する責任のあり方も含め、処分方策の全体像が示されることが肝要である」とした。
- 平成9年2月4日に閣議了解された「当面の核燃料サイクルの推進について」の中においても、高レベル放射性廃棄物対策について、「処分の円滑な実施に向けて処分対策の全体像を明らかにする」べきとされた。
- 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会は、高レベル放射性廃棄物の処分に関する社会的・経済的側面について審議を進め、平成10年5月29日に報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」を取りまとめ、法律の制定を含めて今後、関係機関が進めるべき具体的な方策の策定に向けた基本的考え方や検討すべき点について提言した。特に早急に着手すべきとした点の中に、事業資金の確保と実施主体の設立を挙げ、そのための関係機関の努力を強く要請した。
- 総合エネルギー調査会においては、今後2000年を目途に進められる高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方について98年7月から検討を進め、99年1月に報告書の案を国民に提示し、広く意見募集を行った。この結果、153名から222件の意見が寄せられた。また、99年2月からは全国5カ所において、延べ24名の方々と原子力部会委員とのバックエンド対策にかかる意見交換会を行い、延べ1,069名の一般傍聴者を得ることができた。これらの機会に提出された意見を踏まえ、99年3月に中間報告「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」をとりまとめた。
- この中間報告を踏まえ、現在、行政庁において実施主体のあり方や資金確保のあり方など、制度化に向けた具体的な検討を行っているところである。

巻末（参考資料）

総合エネルギー調査会原子力部会中間報告

「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」のポイント 参照

東京大学 鈴木篤之

1. 知能社会システム

「情報と環境の世紀」にふさわしい地球社会を創造することを可能にするシステムを知能社会システムと仮に呼ぶことにする。ここで、システムとは、有限個の要素によって構成され、それらの要素の完備な関数として表現される、というような単純性や客観性は保証されていない。そのことは、「情報と環境の世紀」とは、人がそのように認識するからであって、自然の法則ではないところにすでに暗示されている。

2. システムのモデル化と設計

そのようなシステムは未知のものである。未知のものであっても人の知的作業によって創ることはできる。それがモデル化と設計である。モデル化といってもコンピュータを使うとは限らない。コンピュータはモデル化のひとつ、しかし有力な手段である。

3. データ マイニングとデータ クリーニング

モデル化に当たっては、必要なデータを発掘 (マイニング) しなければならない。そのためには、適切な属性を選択 (クリーニング) する作業を必要とする。それによって、新しい属性や知識を発見できることがある。データ マイニングとデータ クリーニング技術はコンピュータの発達によって飛躍的に進歩している。

4. 知識共有とオントロジー工学

獲得された知識は多くの人に共有され再利用されるようになってはじめて公共的価値をもつ。そのために、対象が物理的あるいは機械的なものであっても、それを人が認識することによってはじめてその存在が意味をもつという存在論的立場を基礎におくオントロジー工学が注目されている。人工知能研究においては、「形式指向」の研究に対して「内容指向」の研究と位置づけられている。

5. 複雑系としての高レベル廃棄物処分

高レベル廃棄物処分を巡る様々な課題は、このような知能社会システムの好個な事例のように思われる。深部の地下空間への埋設という営みの適否を論ずるためには、システムのモデル化と設計が不可欠であり、そのためのデータ マイニングとデータ クリーニングが各国の専門家の間で行われてきている。今後は、獲得された知識の共有化、すなわちオントロジー工学的アプローチが重要になろう。そのようなアプローチは、いわゆる問題を解くこととは異質のものである。知能社会システムでは人が重要な構成要素になっており、問題を解く人がその問題の中に内在している。したがって、典型的な複雑系システムのひとつである。システムの中の人、システム全体を把握するためには、システムの外に仮想的に出てみるという俯瞰的眼をもたなければならない。今日、俯瞰工学とよばれていることの意味はこの辺にあるように思う。

2. 第2次取りまとめの進捗状況報告

第2次取りまとめの進捗状況報告

核燃料サイクル開発機構
2000年レポートチーム
部長 増田純男

1. はじめに

第2次取りまとめについては、動力炉・核燃料開発事業団（現核燃料サイクル開発機構；以下、サイクル機構）が平成4年に公表した第1次取りまとめ（わが国における地層処分の技術的可能性を示したもの）を踏まえ、平成9年4月の原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告書『高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について』（以下、専門部会報告書）を指針として、2000年前までに技術報告書として国に提出しその評価を仰ぐこととされている。第2次取りまとめは、わが国における地層処分の技術的信頼性および、処分予定地の選定と安全基準の策定に資する技術的拠り所を示すことを目標としており、平成10年9月にはそれまでの研究開発成果に基づいて第1ドラフトを作成し、専門部会に報告、公表した。第1ドラフトについては、地層処分に関連する様々な領域の専門家の方々から、研究開発の内容や進捗状況について指摘や議論を頂いた。

サイクル機構では、第1ドラフトについての指摘や議論、それ以降の研究開発の進捗に基づき、このたび第2ドラフトを取りまとめた。この取りまとめの目的は、最終的に国へ提出する報告書としてまとめていくため、第1ドラフト同様、地層処分に関連する様々な領域の専門家の方々から研究開発の内容や進捗状況について指摘や議論を頂くとともに、国際レビューを受けることである。第2ドラフトでは、第2次取りまとめの全体像を示すため、第1ドラフトの骨格を踏襲し第2次取りまとめの主要なメッセージを包括的に示す総論レポートと、その内容を技術的に支援する3つの分冊からなる構成とした（図-1）。

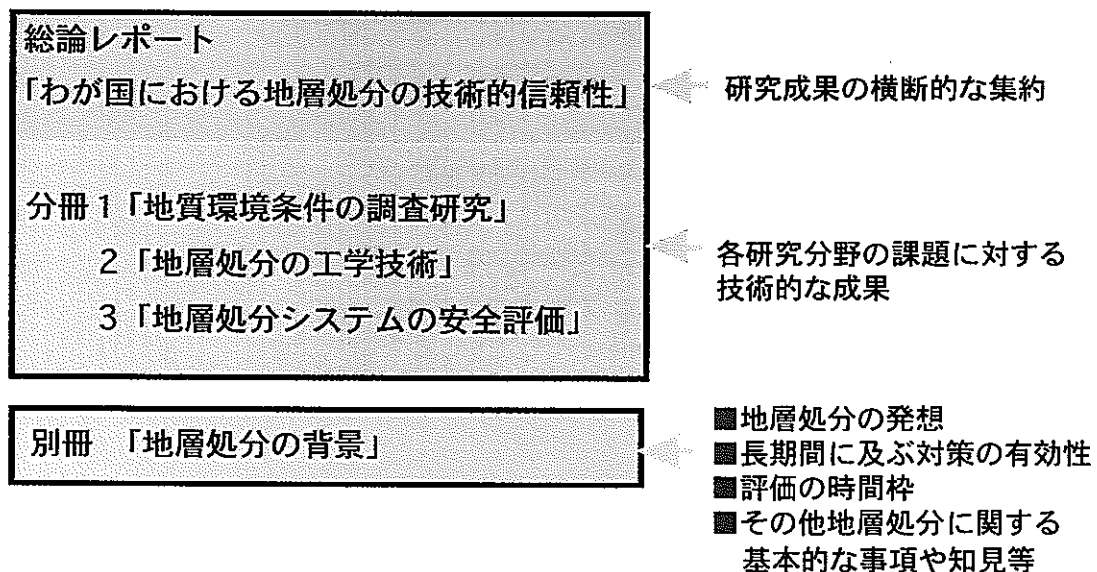


図-1 第2次取りまとめ第2ドラフトの構成

また国に最終的に報告する際に、第2次取りまとめの理解の一助とするため、地層処分に関する基本的な事項や知見に関する情報（例えば、地層処分の発想、評価の時間枠等）をあわせて提供することを目的として、別冊「地層処分の背景」を作成し、一式の情報パッケージとすることとした。

ここでは、第1ドラフトから第2ドラフトの作成にいたるまでの経緯を紹介した後、第2ドラフトの概要について述べる。

2. 第2ドラフトの作成

(1) 第1ドラフトに対するコメントの反映

第1ドラフトの公表後、幅広い領域の専門家や地層処分に関連する様々な関係者の方々からご意見をいただくため、

- 第5回地層処分研究開発報告会（平成10年9月8日、一般公募を含む約820名が参加）において第1ドラフトの内容の紹介
- 核燃料サイクル開発機構ホームページへの第1ドラフト全文の掲載（図-2）
- 個別課題ごとの研究開発成果の学会等への発表

を行い、約百数十件のコメントが寄せられた。これらについては、地層処分研究開発協議会における検討、意見集約を行って第2ドラフトの作成に反映した。

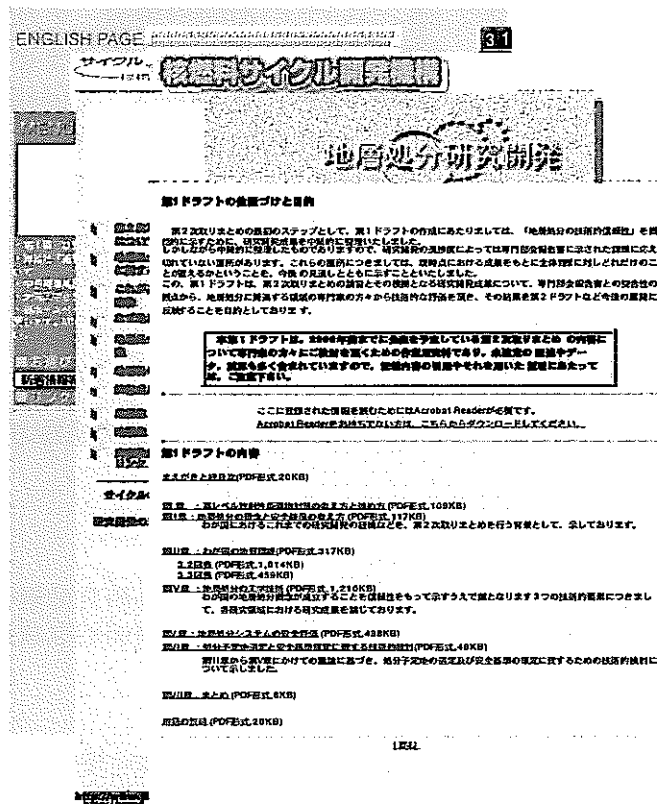


図-2 核燃料サイクル開発機構のホームページへの掲載
 (http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/2000/draft1/draft1.html)

(2) 地層処分研究開発協議会における意見集約

地層処分研究開発協議会／検討部会（図-3）では、第1ドラフト公表以降、平成10年10月から平成11年3月までに、計7回の会合と研究開発分野ごとのテーマに絞った3回のタスクフォース会合が開催され、第2ドラフトに向けた関係各機関の成果の取り込みと内容の調整、レビューが行われた。作業にあたっては、上記第1ドラフトに寄せられた意見について検討を行うとともに、特に第1ドラフトで取り扱っていなかった課題について議論を進めた。

また、検討部会の下に、新たに第2次取りまとめの情報普及に関するタスクフォースが設置され、これまで4回の会合が行われ、情報普及素材や普及活動に関する検討が行われた。

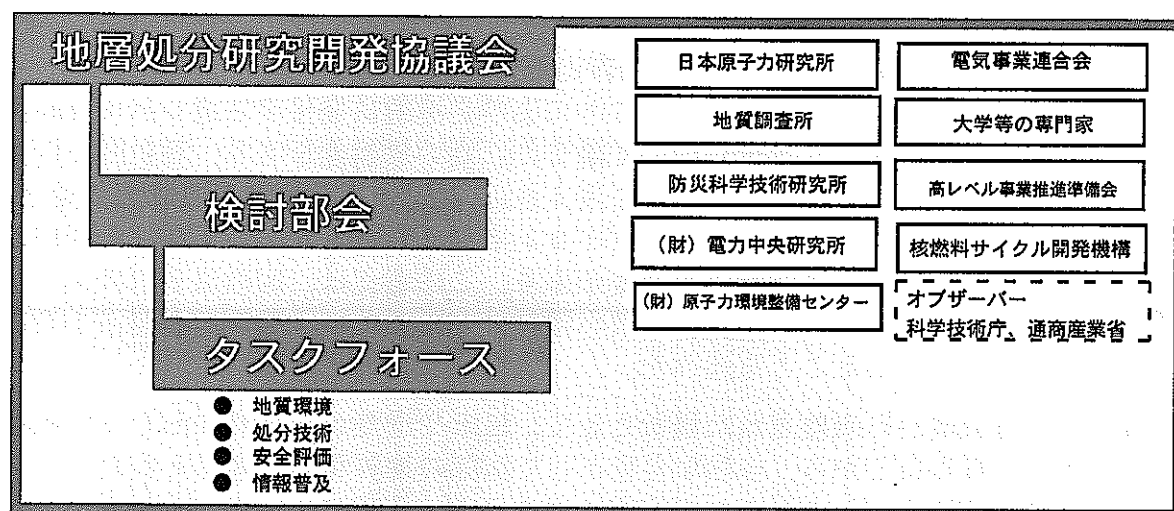


図-3 地層処分研究開発協議会／検討部会の構成

(3) 専門家によるレビュー

第2ドラフト作成の過程において、国内外の専門家によるレビューを実施した。

【国内の専門家によるレビュー】

国内では、重要課題に対応する各学術分野ごとに大学等の専門家が研究を行う制度（コア研究協力）を設け、これによって第2次取りまとめの技術的内容の妥当性を確認した。

【海外の専門家によるレビュー】

国際共同研究の枠組み等を利用し、第2次取りまとめと同様の技術報告書を作成した経験を有する海外の専門家によるレビューを、ワークショップ形式により行った。

● 安全評価全般（平成10年9月；平成11年1月、3月）

日本と類似の処分概念を検討しているスイス Nagra の専門家により、第2次取りまとめの安全評価全般について実施、特にシナリオの分類や天然バリア中の核種移行解析の考え方やデータセットについてコメントを得た。

● 核種移行評価データベース（平成10年11月）

核種移行データに精通している各国の専門家（大学等）により、性能評価用データベースの設定を目的として実施、国際的に妥当なものであることを確認した。

- 3つの研究分野（「地質環境条件の調査研究」、「処分技術の研究開発」、「性能評価研究」）に関する第2ドラフトの内容（平成11年4月）

カナダのEISや米国のWIPP及びユッカマウンテン・プロジェクトに参画しているカナダと米国の7研究機関（AECL, LANL, LBNL, LLNL, PNNL, SNL, UCB）の専門家により、第2ドラフトの内容に関する技術的な信頼性について確認を行うことを目的に実施した。その結果、第2ドラフトでは、評価や不確実性に関する明確な方法論を科学的に確立しようとしており、このことは、サイクル機構自身、また日本の一般公衆にとっても第2次取りまとめとは何かを理解する上で有効なものであるとともに、非常によいアプローチであり、よく完成されているとの評価を得た。

3. 第2ドラフトの概要

(1) 高レベル放射性廃棄物対策の考え方と進め方

原子力を利用してエネルギーを得ることにより必然的に発生する高レベル放射性廃棄物の特徴とそれを考慮した対策について論じた。高い放射能をもち、潜在的な危険性が長期間にわたって継続するという特徴を考えれば、高レベル放射性廃棄物の対策として、群分離・消滅処理や長期貯蔵などのオプションも考えられるが、いずれは人間環境から隔離して処分するという方法をとる必要があり、この考えは、国際原子力機関（IAEA）で提唱されている将来世代への負担を最小限にとどめるという倫理的な側面からの原則にもかなったものであることを述べた。

次に、人間環境から隔離された場所として、鉱床や遺跡が長期間にわたって保存されているという事実などから、自然な発想として深部の地質環境が考えられたことを述べている。他の処分オプションとして宇宙、海洋底下、氷床についても検討されたが、高レベル放射性廃棄物の処分を考える場合、1)自国の領土内において処分を行うことができること、2)処分場の建設に際し、鉱業や土木工学の分野で蓄積されている経験を利用できること、3)何らかの理由で必要が生じた場合、再取りだしを行うことが不可能ではないことから、国際的に地層処分が最も有望視されている現状を紹介し、わが国の方針もこのような背景を考慮したものであることを述べた。

以上の背景のもと、昭和51年の原子力委員会決定以来の地層処分研究開発の経緯、事業化や安全規制に関する検討状況等、わが国の地層処分に対する取り組みについて概観し、第2次取りまとめの位置付けについて述べた。専門部会報告書にしたがって、第2次取りまとめの目標や盛り込むべき事項、個別研究開発課題等について説明し、これに応えるための研究開発の目標として、

- 地層処分の場として十分に安定で、人工バリアの設置環境及び天然バリアとして適切な地質環境がわが国に存在することを示すこと（サイト選定の可能性の提示）、
- 現実的な工学技術によって人工バリア及び処分施設が合理的に構築できることを示すこと（地層処分の工学技術の提示）、
- 地層処分システムの性能をニアフィールドを中心として十分な信頼性をもって評価すること（地層処分システムの長期安全性の提示）

を示した。

また、わが国の総力をあげて取り組んでいることを紹介するため、平成9年9月に発足した「地層処分研究開発協議会」の活動についても言及した。

(2) 地層処分概念と安全確保の考え方

具体的な研究開発を進めるうえで念頭に置いておく必要のあるわが国の地層処分概念について論じた。わが国の地層処分概念は諸外国と同様、天然の地質環境と、地質環境の条件を考慮に入れて適切に設計された工学的な対策を組み合わせる多重バリアの概念に基づくものであるが、変動帯に位置するという地質学的条件を念頭に置き、地質環境の長期的な安定性について特に配慮したものである必要がある。

また、研究開発はわが国の幅広い地質環境を考慮した概念の検討を行っており、この観点からは地質環境の幅に対応して性能に余裕を持たせた人工バリアを考慮しておくことが合理的であることから、現在のわが国の地層処分概念は、図-4に示すように「安定な地質環境に、性能に余裕を持たせた人工バリアを含む多重バリアシステムを構築する」ものであるということができると説明した。将来、処分サイトが決まった段階で、そのサイトの地質環境を考慮して、安全面、経済面から最適な人工バリアを決定することができることを示した。

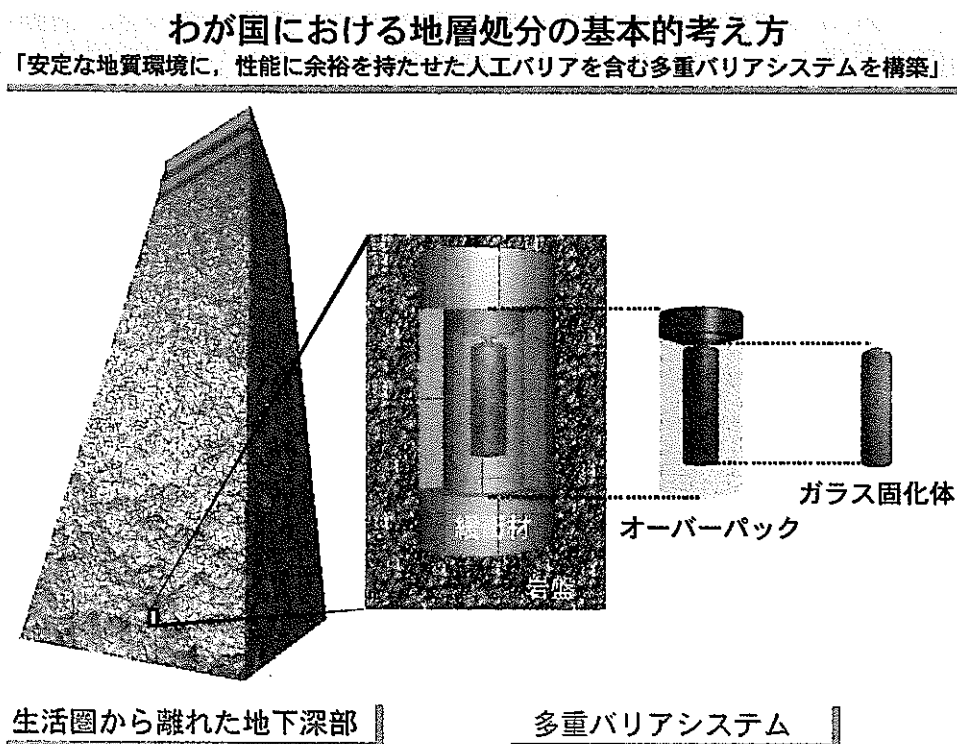


図-4 わが国の地層処分概念

図-4に示したような安全機能が確保されることにより、放射性核種が生物圏に到達するまでには長い時間を要し、この間に放射能は減衰、希釈されて、人間とその環境に有意な影響が及ばないように安全に廃棄物を処分することができるという安全確保の基本的考え方を示した。

(3) わが国の地質環境

天然現象の活動の履歴が残されている地質や地形を対象に、年代測定や当時の環境の分析などを主体とする事例研究を進めるとともに、地球科学の分野に蓄積された文献情報を基に、各天然現象の過去から現在までの活動履歴を調査した。その結果、現象の種

類や地域によって得られる情報の量や精度に違いはあるものの、約170万年前から現在に至る地質時代である第四紀、とくに最近の過去数十万年程度まで遡って活動の場所や規模及びそれらの規則性を追跡することができた。また、現象によっては、過去数十万年程度よりも古い時代における活動の特徴や傾向を推定することができた。これらから、第四紀の活動が継続すると考えられる、少なくとも将来十万年程度の期間について地層処分場としての地質環境の長期安定性を論ずることが可能であると結論した。

わが国における火山活動や断層活動は、過去数十万年程度にわたって、限られた地域（火山地域、活断層帯）内で繰り返し起こっていること、また、断層活動によって岩盤が破碎されたり、火山活動に伴って地温の上昇や地下水の水質変化が生じるような影響範囲は、個々の活断層や火山によって異なるものの、前者については活断層から数百m程度まで、後者については火山から数十km程度までとの目安が得られた。日本列島における火山や活断層の分布およびそれらの影響に関する現状の知見によれば、火山活動や断層活動による影響を被らないような地域はわが国にも広く存在しているといえる。したがって、これらの現象については、個々の地域での調査に基づき、活動の可能性とその影響範囲を考慮して、処分サイトを適切に選定し、また、処分施設や人工バリアを設計することにより、地層処分システムに対する影響を回避することが可能である。

一方、隆起・沈降・侵食については、過去数十万年程度にわたって、地域ごとに概ね一定の速度で進行していること、およびその速度は、山岳地域などを除く多くの地域で十万年間に数十m～百m程度であることが示された。また、気候・海水準変動については、過去数十万年程度にわたって、氷期・間氷期サイクルの地球規模での変動が概ね十万年周期で繰り返されていること、およびそれに伴いわが国においては、10℃程度の気温の変化および百数十mの海面変化が起こったことが認められた。これらの現象については、一部の変動の激しい地域を避けたうえで、個々の地域において想定される変動の規模を考慮して処分場の深度を設計するなどの対応をとることが可能である。

人工バリアを設置する環境および天然バリアとしての機能にとって重要な岩盤と地下水の特性について、文献データの整備を行うとともに、東濃地域および釜石鉾山での地層科学研究の成果を活用することにより、実測データに基づく検討を行った。

わが国における岩盤の性質は多様であるが、地温が十分に低く地圧も均質に近いような深部岩盤が、わが国にも広く存在し得ることが、文献調査および東濃地域と釜石鉾山での実測により確認できた。また、このような岩盤の力学的、熱的性質に応じて、処分施設や人工バリアを合理的に設計・施工することができることを示した。

地下深部の地下水は、土壌や岩石中に一般的に存在する鉱物や有機物などとの反応により、深部にいくにしたがってより還元され、深度数十m～数百mで強還元性になっていることが、東濃地域および釜石鉾山などでの実測データおよび水-岩石反応試験や理論解析に基づき確認された。さらに、地下深部では、地表に比べて動水勾配が小さく、地下水の動きが遅くなることが、東濃地域での実測データにより示された。このような深部地下水の一般的な性質は、地層処分システムの性能評価を通じて、オーバーパックの腐食や核種の溶解・移動を制限するという観点から、人工バリアが長期にわたって性能を維持する上で適切な環境条件であることを示した。

天然バリアの機能にとって重要な岩盤中での物質移動については、東濃地域や釜石鉾山などでの観察・試験の結果、物質の移行経路となる岩石中の粒子間隙や割れ目など

の分布・形状は岩石の種類や場所によって異なるが、一般に、地下水を媒体として物質が移動する過程で、鉱物の表面への収着や割れ目から岩石マトリクス中への拡散が実際に生じ、物質の移動を遅延させる機能を有することが確認できた。

以上のことから、わが国においては、火山や断層等の活動地域とその影響範囲を除けば、地下深部の地質環境は長期間にわたって人工バリアの健全性を保ち、天然バリアとして核種の移行を遅延するという機能が期待でき、またそのような機能を有する地質環境が存在することが確認できた。

(4) 地層処分の工学技術

人工バリアや処分施設の工学技術に関しては、サイクル機構の地層処分基盤研究施設(ENTRY)等における試験研究や、東濃地域、釜石鉱山における地層科学研究及び海外の地下研究施設での国際共同研究、並びに国内外の研究機関における試験研究等、実験室規模あるいは工学規模での試験を通じて、設計要件の見直し、応力変形解析モデル等の解析評価手法の開発と設計用データベースの整備を進めたことから、わが国の幅広い地質環境に対応できるように岩盤物性値の幅を考慮して合理的な設計・施工を可能とした。これらの成果を用いて試算した人工バリアの仕様では、第1次取りまとめに示された仕様に比べ、オーバーパック、緩衝材とも、厚さを約30%低減することが可能となった。またオーバーパックの試作や実際の緩衝材を用いた施工試験等を通じて、人工バリアの製作・施工が現在の技術をもとに実施できることを示した。

また、岩盤の長期クリープやオーバーパック腐食膨張を考慮した長期構造力学安定性、熱-水-応力連成解析による人工バリアの再冠水挙動、人工バリアの耐震安定性等について評価を行い、設計された人工バリア仕様の長期健全性を確認した。

処分施設については、処分坑道の離間距離や廃棄体の配置を処分場の性能を損なうことなく坑道掘削量が最小となるように設定する合理的な設計の考え方を示し、上記人工バリア仕様を対象として具体的に適用を試みた。

処分施設の設計にあたっては、まず、現実的な地質環境データを用いた坑道の力学的安定性の検討を行い、施工が可能と考えられる処分深度の概略的範囲を明らかにするとともに、有限要素法による詳細解析を実施し、支保工を含めたアクセス坑道、主要・連絡坑道及び処分坑道の仕様を設定した。これらの坑道仕様に対し、操業時の耐震安定性について検討し、その安定性が確保されることを確認した。次に熱解析を行い、力学的安定性の解析と合わせて処分坑道の離間距離や廃棄体の配置を設定した。

処分施設の仕様に基づいて、処分場の建設、操業の各作業手順について検討し、これらの作業について独立に並行して実施可能となるような処分場全体のレイアウトを示すとともに、それぞれの作業について基本的に現状技術あるいは近い将来実現すると考えられる技術で実現可能であること、充分品質管理を行うことができることを示した。

処分場の管理については、国際的な共通認識等も参考に、制度的管理を終了し処分場を閉鎖する判断に必要な技術的情報を整えておくことを目的として、閉鎖までに行う管理の項目を明らかにした。処分場における各作業段階に応じて、これらの管理項目ごとに具体的なモニタリングの対象と計測技術を例示した。なお、上述した方法で処分場を操業することにより、数十年にわたる操業期間中の再取出しや設計・施工方法の改善、変更が可能である。このような操業や品質管理を通じて、処分場閉鎖後に安全性の観点

からモニタリングや廃棄体の再取り出しを行うことについては想定する必要がないと考えることができる。

(5) 地層処分システムの安全評価

体系的なシナリオ作成の手法，より現象に即したモデル及びより現実的なデータベースを開発することにより，ニアフィールドを中心として，地層処分システムの安全機能解析評価に関する信頼性が向上した。人工バリア中の核種移行解析については，同位体共存下での沈殿／溶解を現象に即して扱うとともに，周辺母岩での地下水流れを境界条件として取り込むことができるモデルを開発した。また，天然バリア中の核種移行解析については，亀裂性岩盤に対しては亀裂ネットワークモデルを，亀裂が少なく亀裂内の流れよりも粒子間隙内の流れが支配的となるような新第三紀堆積岩に対しては不均質連続体モデルを開発した。これらのモデルやデータの妥当性については，ENTRYにおける地下深部の環境を模擬した条件での室内試験や，東濃地域や釜石鉾山における地層科学研究によって確認された。個々のモデルを接続し，線量を指標に1本のガラス固化体を対象とした，地層処分システム安全評価モデル基本体系を整備した。

開発したシナリオ作成の手法を適用し，地層処分システムの安全性を論ずる上で評価上考慮すべきシナリオを明らかにするとともに，評価の方法を検討した。地層処分システムは，その安全機能を十分に発揮できるように長期的に安定で地下水流速が小さく化学的に還元性であるといった地層処分にとって好ましい条件を有する地質環境に，適切に設計された処分場を建設するという対策によってシステム固有の性能を確保することが可能である。まずサイト選定によって長期的に安定で資源の存在しない地質環境が確保されることによって，接近シナリオについては基本的にその影響を排除できることを示した。このような地層処分システムの固有性能を確保することを基本とした上で，地下水シナリオについては，モデルやデータの不確実性とともにより，わが国の幅広い地質環境を考慮することによる地質環境の多様性や処分場の設計のオプションを勘案し，地下水シナリオに対して，システム全体の安全性を評価するための解析ケースを設定した。上述した地層処分システムの安全評価モデルの基本体系を用い，40,000本のガラス固化体を埋設することを想定した処分場に対してこれらの解析を実施した結果，上述の不確実性やシステムのバリエーションを考慮しても，地層処分システムの固有性能を勘案すれば，線量の最大値は，例えば諸外国で示されている安全基準（0.1～0.3mSv/年）を下まわること示した。

(6) 処分予定地選定と安全基準策定に資する技術的検討

サイトの選定を，①処分候補地の選定，②処分予定地の選定，③処分地の選定，の3段階によって進められると区分し，選定にあたって考慮すべき地質環境上の要件および必要となる情報を整理するとともに，重要な地質環境情報を取得するために必要な調査技術の開発状況を整理した。

処分予定地やその候補地の選定においては，地層処分にとって不適切な地質環境を除外する観点から，①断層活動による岩盤の破壊，火山活動に伴うマグマの貫入や熱水の侵入および急激な隆起，侵食等を被らない地域であること，②対象とすべき岩盤が，必要な規模の処分施設を建設する上で十分な空間的な広がりを持つこと，③将来における人間侵入の動機となるような地下資源が存在しない地域であること，を重要な地質環

境上の要件として明らかにした。これらの要件については、処分候補地の選定段階に主に文献調査による検討を行った上で、処分子定地の選定段階に、ボーリングや物理探査などの現地調査によって実際に確認することが可能である。

地質環境の特性（地質・地質構造、地下水の流動、地下水の地球化学、岩盤の熱・力学、岩盤中での物質移動）については、これらの各段階を通じて予備的な情報の取得・収集を進めるとともに、処分地の選定段階における地下施設等を利用したサイト特性調査によって、処分システムの設計と性能評価に必要なデータを包括的に整える。

このような調査に対応するため、ボーリング孔を利用して深度1,000mまでの岩盤の透水係数や地下水の酸化還元電位などを高精度で計測するための装置、地下坑道における地質構造調査やトレーサー試験あるいは掘削影響評価の手法など、基盤となる要素技術を、東濃地域や釜石鉱山での調査試験を通じて整備することができた。

わが国の幅広い地質環境を対象として人工バリア及び処分施設の設計・施工要件を示し、このような要件を満たすような仕様例を明らかにしたことによって、処分サイトの地質環境条件に応じて適切に設計を行うための手法や必要なデータを明らかにすることができた。処分子定地においては、サイト特性調査による地質環境条件の把握、これに基づく処分場の設計、設計された処分場を含む地層処分システム全体の性能評価による安全性の確認という作業をくり返すことによって最適な処分システムの構築を行うことが可能である。

処分場の管理等を通じて実施される処分場の建設、操業、埋め戻しに関する品質管理の考え方を明らかにし、これらが基本的には既存の手法やモニタリング技術によって実施可能であることを示した。

わが国の幅広い地質環境を考慮して構築された地層処分システムの安全評価を行うために開発されたシナリオ作成のための方法論やシナリオに沿って影響を評価するためのモデル、データは、実際の処分子定地の地質環境に対応して具体化される地層処分システムの安全評価の基盤を与えることができる。この際、安全評価のためのシナリオ、モデル及びデータは、サイトの選定による地層処分にとって好ましい地質環境条件の確保と設計に基づく工学的対策によって実現される地層処分システムの固有の性能に充分留意し、現実的な範囲で保守性をもつように設定することが重要である。

安全指標の基本となる線量あるいはリスクについては、人間の生活様式に関する長期的な予測に大きな不確実性を伴うことから、これを補完する指標について、比較対象とする基準の明確化、時間的・空間的不確実性および放射線学的影響の尺度への近接性の観点から検討した。その結果、河川、海、土壌あるいは岩石中の放射性核種濃度を指標とすることが可能であり、性能評価モデルによる推定値と天然に存在する放射性核種濃度の実測値との比較によってシステムの安全性の判断に資することについての可能性を示した。このような評価は、サイトの条件やシステムの性能評価の枠組みに合わせて天然の放射性核種濃度の測定をサイト特性調査項目に加えることにより、実際のサイトにおいて行うことが可能である。

安全評価の時間スケールを考察するうえで重要な因子は、地質環境の長期安定性、人間環境の長期的な変化および廃棄物の潜在的危険性の変化であり、地質環境の安定性については将来十万年程度、人間環境については次の氷期が到来するまでの一万年程度の期間については、ある程度の信頼性をもって予測することが可能である。廃棄物の潜在

的危険性の放射性崩壊による時間的減少については、どの程度のレベルまでの低減を考慮するかを決定する必要がある。一つの考え方として、その廃棄物を発生させるもととなるウラン鉱石総量の潜在的な危険性と同等レベルを目安とすることができ、そのようなレベルとなるまでの時間は数万年程度である。これらを勘案すれば、少なくとも地質環境の安定性に関する予測が可能と考えられる十万年程度までは、線量の評価と補完的な安全指標を適切に組み合わせて評価を行うべきと考えられる。それ以降の期間については、評価の不確実性は大きくなるが、廃棄物の潜在的な危険性も小さくなることによって緩和されると考えられる。

(7) わが国の地層処分の技術的信頼性と2000年以降の研究開発

以上までの研究開発の成果によって、わが国においても、地層処分に適切な地質環境を選定し、その地質環境に適合した処分場を設計・施工することにより、長期間安全性を維持できる地層処分システムを構築することが可能であることが示された。このようにして構築されたシステムの長期的安全性は、最新の科学技術的知見に基づいて開発された方法論による評価を通じて確認された。これらのことから、わが国において高レベル放射性廃棄物地層処分を安全に実施する上での技術的な基盤が信頼性をもって示されたと結論できる。

また、第2次取りまとめ以降の研究開発については、地層処分の事業化に向け、国内外の地下研究施設、ENTRY、地層処分放射化学研究施設（QUALITY）等を利用することによって、これまでの研究開発成果の実用化、体系化によってさらに信頼性の向上を図っていく段階と位置づけることができる。具体的には、地質環境の長期安定性や特性に関する調査解析手法や処分場の工学技術の検証、処分場の詳細設計手法やシステムの安全評価手法の高度化を進め、「地層処分事業化技術」として確立するとともに、これらの成果を最新の計算機技術を利用することによって数値情報化を行っていくことが重要と考えられる。また、わが国における地層処分技術に対する信頼性をより高めるという観点からも、火山、断層活動等の影響を評価するための手法の確立、地層処分システム全体や人工バリア構成材についての天然類似現象（ナチュラルアナログ）の研究が重要である。

4. まとめ

第2ドラフトは、第1ドラフトについての指摘や議論、それ以降の研究開発の進捗に基づき専門部会報告書に示された課題に対してほぼ網羅的に応えるものとして作成した。

第2ドラフトについても、第1ドラフトと同様、さまざまな方々からご意見をいただきとともに今後の研究開発成果を反映し、地層処分研究開発協議会及び検討部会において関連機関との意見集約を図りながら、第2次取りまとめをより信頼性の高いものとしていく予定である。また第2次取りまとめは、専門部会報告書にしたがい国際的な専門家によるレビューを受け、その結果を報告書とともに国へ報告することになっており、第2ドラフトの内容について経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）によるレビューを受けることとしている。

以上のような作業を経て本年11月末頃に第2次取りまとめ報告書の最終版を国へ提出する計画である。

3. パネルディスカッション (地層処分の技術的信頼性)

パネルディスカッション（地層処分の技術的信頼性）

第2次取りまとめは、「わが国における地層処分の技術的信頼性を示すこと」を目標に、サイクル機構をはじめとした国内の研究開発機関等の成果を集約して進められている。

本パネルディスカッションにおいては、このたび作成された第2次取りまとめ第2ドラフトの内容を題材として、“地層処分の技術的信頼性を示す”ことがどのように達成されようとしているのか、あるいは、達成されるべきかについて、専門家による討論と参加者との質疑応答を通じ、明らかにする。

<パネリストによる討論会>

－ 議題提起 －

◆ わが国の地質環境 ◆

地層処分の安全確保にとって地質環境には、地層処分の場として長期にわたって十分に安定であること（地質環境の長期安定性）、と人工バリアの設置環境および天然バリアとして岩盤や地下水の物理的・化学的な性質（地質環境の特性）が適切であること、が求められる。

上記の観点から、わが国において地層処分に適切な地質環境が存在することについて議論する。

◆ 地層処分の工学技術 ◆

適切な地質環境が選定された後、その場所に処分場が建設され、高レベル放射性廃棄物が埋設される。このために必要となる人工バリアや処分施設の工学技術について議論する。

◆ 地層処分システムの長期安全性 ◆

地層処分システムは、適切に選定された地質環境に、その条件に対応して設計された処分場を建設することによって構築される。その地層処分システムに関する長期的安全性について議論する。

<参加者との質疑応答>

◆ 質問／意見への回答 ◆

◆ 会場との質疑応答 ◆

わが国の地質環境

地質環境が地層処分の安全確保にはたす役割を、①地層処分の場として長期にわたって十分に安定であること（地質環境の長期安定性）、および②人工バリアの設置環境および天然バリアとして岩盤や地下水の性質（地質環境の特性）が適切であること、という2つの観点からとらえ、事例研究の成果や実測値に基づいて、わが国において地層処分に適切な地質環境を選定することが可能であるかどうかについて論じた。

まず、わが国における地質環境の長期安定性に関連する重要な天然現象として、①地震・断層活動、②火山・火成活動、③隆起・沈降・侵食、④気候・海水準変動、を抽出し、地層処分システムの性能との関連で想定される影響に着目して、活動の特徴や影響範囲などについて調査研究を行った（図-1）。

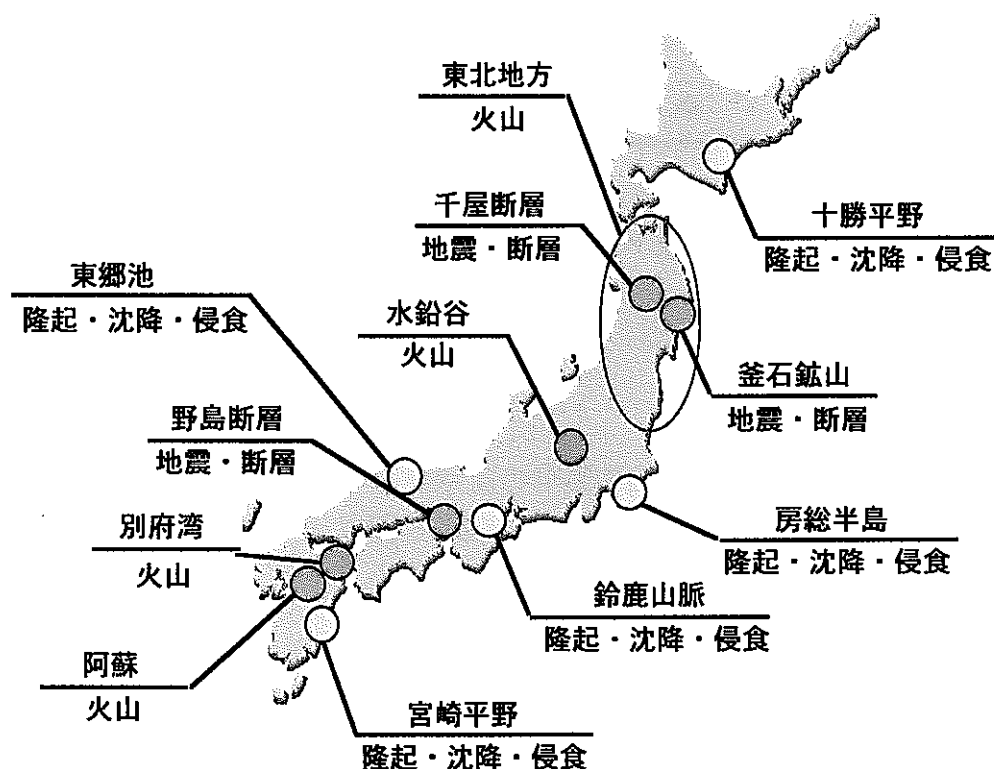


図-1 事例研究主要実施箇所

これらの天然現象を顕著に観察できる地域での事例研究の結果、現象の種類や地域によって得られる情報の量や精度に違いはあるものの、概ね過去数十万年程度まで遡って活動の場所や規模及びそれらの規則性を追跡することができた（図-2）。また、現象によっては、過去数十万年程度よりも古い時代における活動の特徴や傾向を推定することができた。これらから、将来十万年程度の期間について地層処分の場としての地質環境の長期安定性を論ずることが可能であると結論した。火山活動や断層活動のように偏在性が強い現象や局所的な現象については、活動の場が推定できることから、処分サイトを適切に選定することにより影響を回避することが

可能であり、一方、隆起・沈降・侵食および気候・海水準変動のような緩慢な現象については、変動の速度や幅が限定できることから、それを外挿することによって将来の変化やその影響を評価することが可能である。これらのことから、地層処分にとって十分に安定な地質環境を選定することができると考えられる。

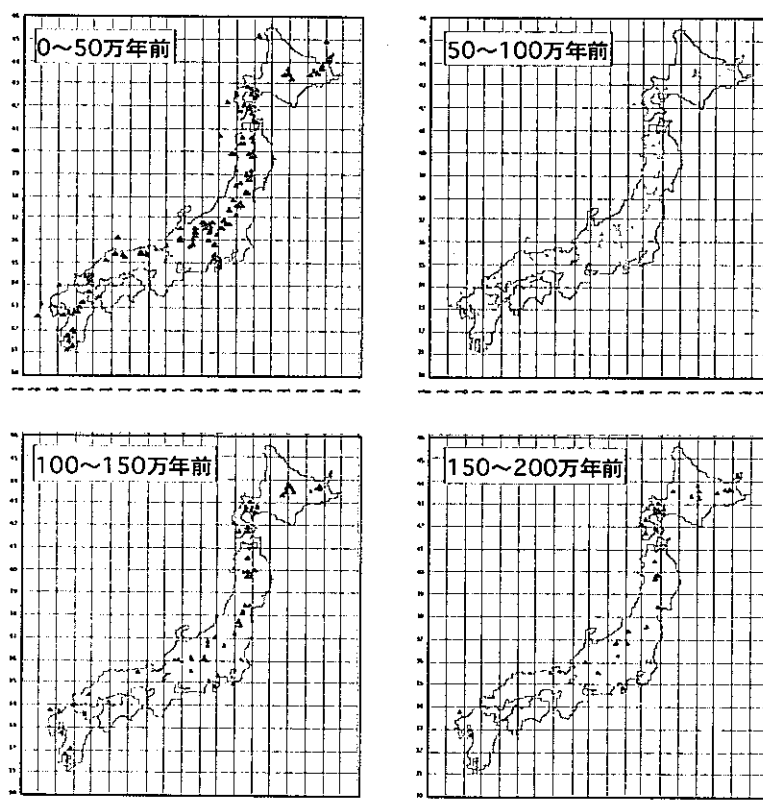


図-2 第四紀火山の時空分布

わが国における火山活動や断層活動は、過去数十万年程度にわたって、限られた地域（火山地域，活断層帯）内で繰り返し起こっていること、また、断層活動によって岩盤が破碎されたり、火山活動に伴って地温の上昇や地下水の水質変化が生じるような影響範囲は、個々の活断層や火山によって異なるものの、最大でも前者については活断層から数百 m，後者については火山の中心から数十 km 程度との目安が得られた。これらの現象については、個々の地域において想定される影響の程度や範囲を人工バリアの性能との関係で把握し、そこから十分に離す、あるいは、それを考慮して処分施設や人工バリアを設計をすることにより、地層処分システムの安全性に支障を及ぼすような影響を回避することが可能である。また、日本列島における火山や活断層の分布およびそれらの影響に関する現状の知見によれば、火山活動や断層活動による影響を被らないような地域はわが国にも広く存在しているといえる。

一方、隆起・沈降・侵食については、過去数十万年程度にわたって、地域ごとに概ね一定の速度で進行していること、およびその速度は、山岳地域などを除く多くの地域で十万年間に数十 m 程度であることが示された。また、気候・海水準変動については、過去数十万年程度にわたって、氷期・間氷期サイクルの地球規模での変

動が概ね十万年周期で繰り返されていること、およびそれに伴いわが国においては、10℃程度の気温の変化および百数十 m の海面変化が起こったことが認められた。これらの現象については、変動の速度や幅が設定できることから、一部の変動の著しい地域を避けた上で、個々の地域において想定される変動の規模を考慮して処分場の深度を設定するなどの対応をとることが可能である。

また、地質環境の特性として重要な地下水の流動、地下水の地球化学、岩盤の熱・力学及び物質移動に関与する地質構造要素については、特に東濃地域および釜石鉾山における地層科学研究により得られた実測値に基づいて、地下深部におけるこれらの一般的な性質に関する情報の蓄積が進んだ。

地下深部の動水勾配については、地表付近の動水勾配が地形勾配に強く支配されていることが確認された。一方、東濃地域における地下水流動解析及び2本の1000mボーリングでの実測データから、地下深部の動水勾配は地形の影響を受けにくく地表付近に比べて1/2程度となるという結果が得られた。

岩盤の透水性については、主に土木工学等の分野に蓄積されている文献データを岩種ごとに整理するとともに、東濃地域及び釜石鉾山で得られた地下深部についての実測データ数百件と比較・検討した。これによって、地層処分概念の検討にあたり、割れ目集中帯や破碎帯を除く地下深部の岩盤の透水係数として概ね $10^{-10} \sim 10^{-7}$ m/ の範囲を考慮しておけばよいという結果を得た。

降水を起源とする地下水に関し東濃地域や釜石鉾山で得られた実測データは、地下深部で強い還元状態にあることを示しており（図-3）、この結果が、種々の岩石に一般的に認められる主要な造岩鉱物、粘土鉱物および微生物や有機物との反応によって説明できることを明らかにした。

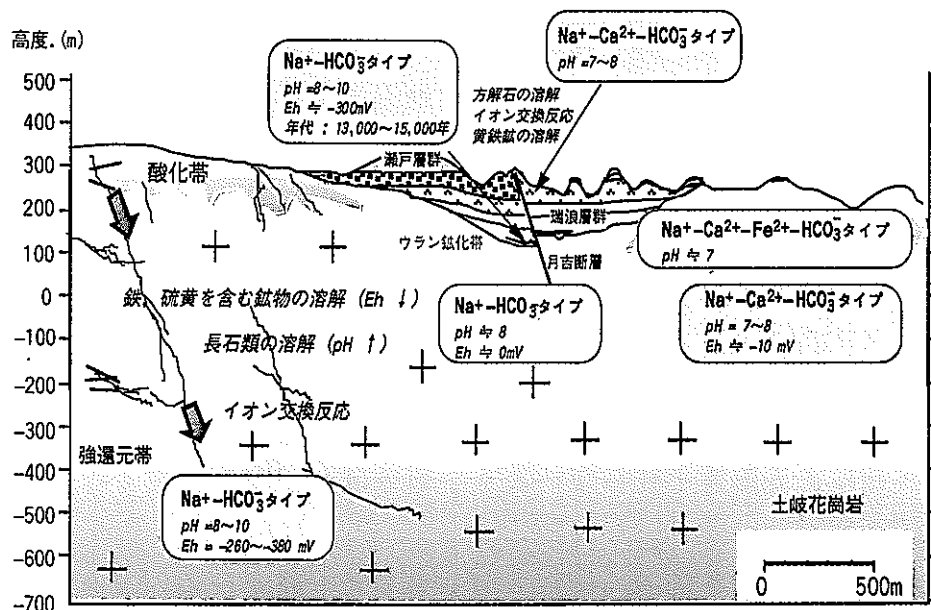


図-3 東濃地域における地下深部地下水の地球化学的性質

岩盤の初期応力に関しては、文献データによる傾向を東濃地域あるいは釜石鉱山における地層科学研究で得られた実測値によって確認し、一般に地下深部では鉛直方向の応力と水平方向の応力がほぼ同じ大きさで作用していることを示した。また地下坑道の掘削によって岩盤特性が変化する範囲は、坑道壁面から1m程度までであることが確認された。

地下での物質の移行については、これまでに多くの鉱山やトンネル坑道において観察されている間隙構造について、結晶質岩や古い堆積岩のように緻密な岩盤では岩盤中に発達した割れ目のネットワーク構造が、一方、固結度の低い新しい堆積岩では粒子間隙や粒子中の微小割れ目などが主要な移行経路となることを、釜石鉱山や東濃地域での観察、試験によって確認した。移行経路に存在する鉱物のうち、粘土鉱物および雲母や黄鉄鉱などの鉄含有鉱物は、石英、長石類、方解石などに比べて物質を収着する能力が高いことが確かめられた。

これらの知見から、わが国においては、火山や断層等の活動地域とその影響範囲を除けば、地下深部の地質環境は長期間にわたって人工バリアの健全性を保ち、天然バリアとして核種の移行を遅延するという機能が期待でき、またそのような機能を有する地質環境が存在することが確認できた。

以上の成果については、今後継続して、事例研究による知見や実測による情報を蓄積し、より信頼性の高いものとしていく予定である。さらに、深地層の研究施設計画においても、深部地質環境に関する調査解析技術や予測手法等の総合的な検証を行って、処分予定地の選定やサイト特性調査に役立てていくことにしている。

地層処分の工学技術

人工バリアや処分施設の工学技術に関しては、わが国の幅広い地質環境を考慮しつつ、現状の技術に基づいて人工バリアや処分施設について設計要件を明らかにし、現実的なデータや信頼性の高い解析評価手法を適用するとともに経済性も勘案した合理的な設計を行って、人工バリアと処分施設の仕様例を示した。

第1次取りまとめ以降、サイクル機構の地層処分基盤研究施設（ENTRY）等における試験研究や、東濃地域、釜石鉱山における地層科学研究及び海外の地下研究施設での国際共同研究、並びに国内外の研究機関における試験研究等、実験室規模あるいは工学規模での試験を通じて、実測によるデータや知見が蓄積され、これらに基づいて設計要件の見直し、設計のツールである解析評価手法の改良と設計用データベースの整備を進めてきた。

特に、わが国の幅広い地質環境を考慮するため、文献などを中心に幅広く収集したデータについて東濃地域や釜石鉱山での地層科学研究で得られた知見による確認を行ったうえで、設計・施工検討で必要となる岩盤物性値を幅で表し、この幅に対して現実的に設計・施工が可能であることを示した。これにより、将来選定される処分場サイトについてもその特徴に応じてそれらの設計、施工を行うことが基本的に可能であり、そのための基盤を与えることができた。

人工バリアについては、上記のような検討を経て明らかとなった設計要件、開発された設計手法やデータベースに基づく合理的な設計によって、オーバーパックと緩衝材の材料、厚さ等の仕様を検討し、試算例を提示した（図-4）。この例では、第1次取りまとめの段階での知見に基づいて示された仕様例に比べ、安全性能を損なうことなくオーバーパック、緩衝材とも、厚さを約30%低減することが可能となった。緩衝材の材料については、必要な性能を維持しつつベントナイトにケイ砂を混合することによって、より経済的なものとすることができた。

処分施設の設計にあたっては、まず現実的な地質環境データに基づく坑道の力学的安定性の検討から、施工が可能と考えられる処分深度の概略的範囲を示すとともに、有限要素法による詳細解析を実施し、支保工を含めた各坑道の仕様を設定した。これら坑道仕様に対し、操業時の耐震安定性について検討しその安定性が確保されることを確認した。また処分坑道の離間距離や廃棄体の配置に関しては、処分場の性能を損なうことなく合理的にそれらを設計するための考え方を示すとともに、この考え方に従って具体的に熱解析等を行い、合理的な処分坑道の離間距離や廃棄体の配置を設定した。これらの検討結果に基づいて処分施設の仕様を例示した（図-4）。さらに、岩盤の長期クリープやオーバーパック腐食膨張を考慮した人工バリアの長期構造力学安定性、熱-水-応力連成解析による人工バリアの再冠水挙動等の人工バリアの長期健全性についても評価した。

処分施設の仕様例に基づいて、処分場の建設、操業の各作業手順について検討し、

これらの作業が独立に並行して実施可能となるような処分場全体のレイアウトを示す(図-4)とともに、それぞれの仕事について基本的に現状技術あるいは近い将来実現すると考えられる技術で実現可能であること、充分品質管理を行うことができることを示した。

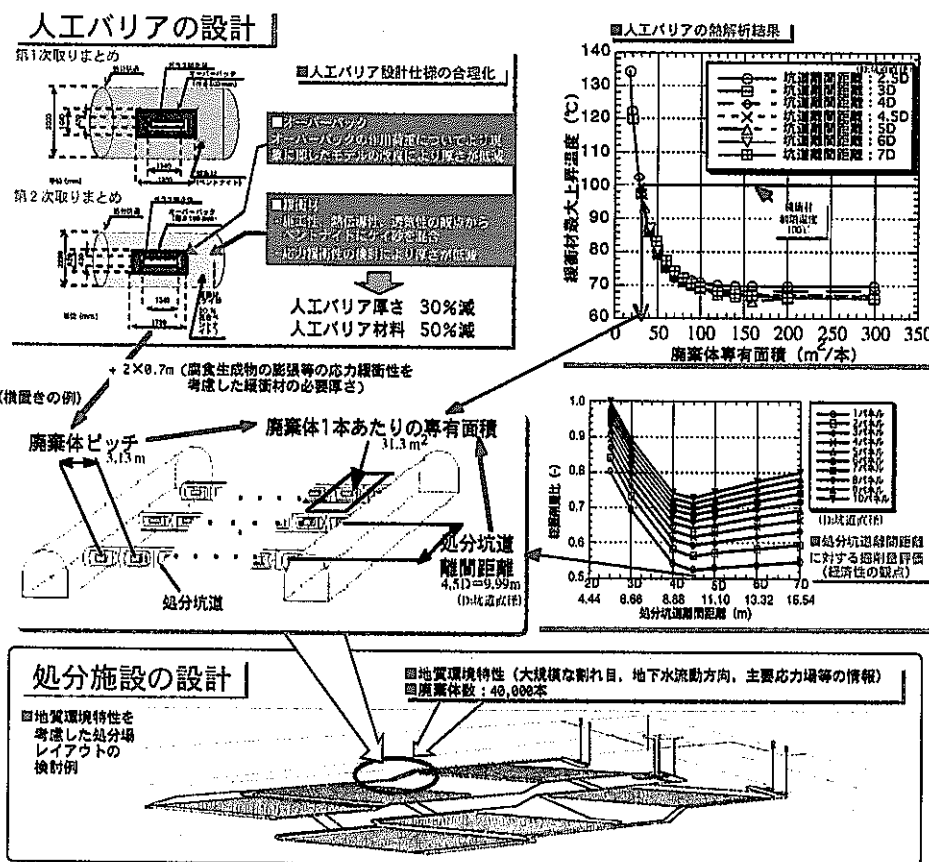


図-4 合理的な設計に基づく人工バリアと処分施設レイアウトの設計例

処分場の建設、廃棄体等の定置、坑道等の埋め戻し作業に関しては、人工バリアや処分施設の仕様例に対して、現状技術あるいは近い将来実現可能と考えられる技術で基本的に実施可能であることを示した。また、それぞれの作業において必要となる品質管理方法について概略を示した。

処分場の管理については、国際的な共通認識等も参考に、制度的管理を解いて処分場を閉鎖する判断に必要な技術的情報を整えておくことを目的として、閉鎖までに行う管理の項目を明らかにした。処分場における各作業段階に応じて、これらの管理項目ごとに具体的なモニタリングの対象と計測技術を例示した。なお、このような管理を通じて、処分場閉鎖後に安全性の観点からモニタリングや廃棄体の再取り出しを行うことについては想定する必要がないと考えることができる。

今後、上述した処分施設に関する検討結果に基づき、深部地質環境特性に関する実測値の蓄積に応じて人工バリア及び処分施設に関する設計手法等の見直しを行い、より信頼性の高い技術体系として整えていくことにしている。またこれらの工学技術の適用性については、計画中の深地層の研究施設においてさらに確かなものとするのが期待される。

地層処分システムの長期安全性

わが国の地質環境において、ニアフィールドを中心とした地層処分システムの安全機能を十分な信頼性をもって評価する手法を構築するとともに、それを用いた地層処分システムに対する評価解析を実施した。

安全評価手法については、体系的なシナリオ開発を進め、シナリオに従って、より現象に即したモデルの開発とより現実的なデータの整備を行った。シナリオについては、まず地層処分において考慮すべき現象をすべて抽出することとして、包括的な FEP (特質(Feature), 事象(Event), プロセス(Process)) リストを作成した後、これに基づいて安全評価解析で考慮する FEP の選別とこれらを組み合わせたシナリオを検討し、地下水シナリオについて標準として設定するレファレンスケースを選定した (図-5)。レファレンスケースでは、わが国の地層処分概念に基づいて構築される地層処分システムを、現実的な地質環境のデータ (「わが国の地質環境」に記述) と、それを踏まえて合理的に設計された人工バリア仕様 (「地層処分の工学技術」に記述) によって特徴づけ安全評価の対象とした (図-6)。

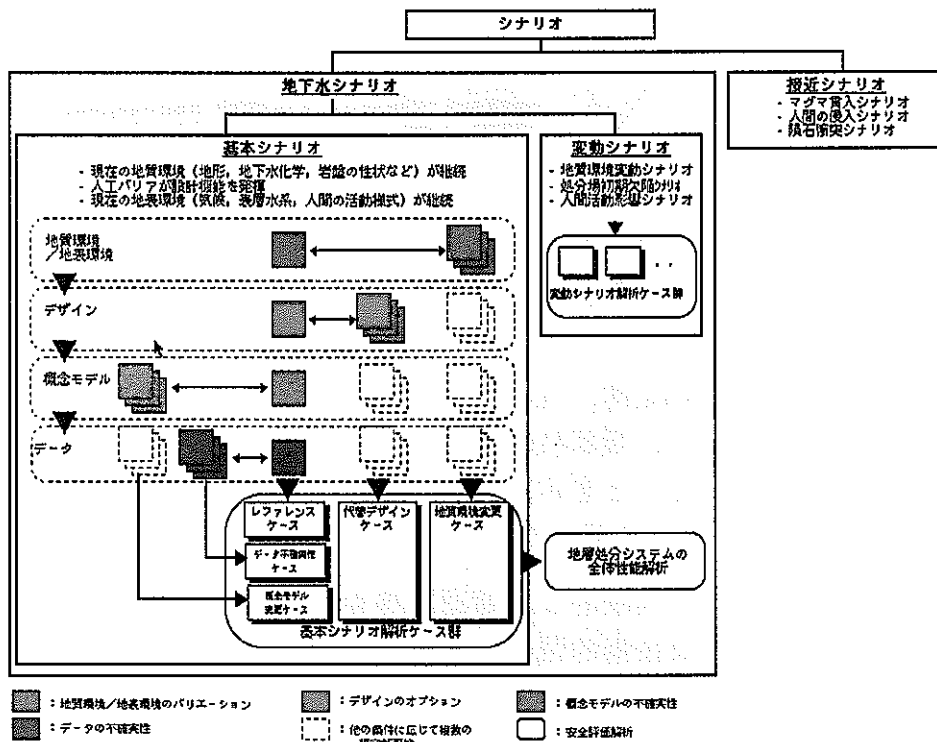


図-5 シナリオと解析ケースの分類

レファレンスケースに対応して多重バリアシステムの性能評価を行うため、特に緩衝材中の放射性核種の移行を同位体存在下で沈澱/溶解を考慮して扱うとともに、周辺母岩での地下水流れを境界条件として取り込むことができるモデルを開発した。また、人工バリア周辺の岩盤中での放射性核種の移行について、場の不均質性を考慮して扱うことが可能な、より現象に即したモデルを開発した。併せて地下深部の環境における信頼性の高いデータを整備した。これらのモデルやデータベースの開

発にあたっては、ENTRY での工学規模の試験研究や釜石鉱山における原位置試験等による妥当性の確認を行い、信頼性の向上を図っている。特に、安全評価上重要な人工バリアや岩盤中での放射性核種の移行特性に関するデータについては、平成 11 年に運用が開始されることになっているサイクル機構の地層処分放射化学研究施設 (QUALITY) における実際の放射性同位元素を用いた試験によって、その信頼性をさらに充実させることにしている。

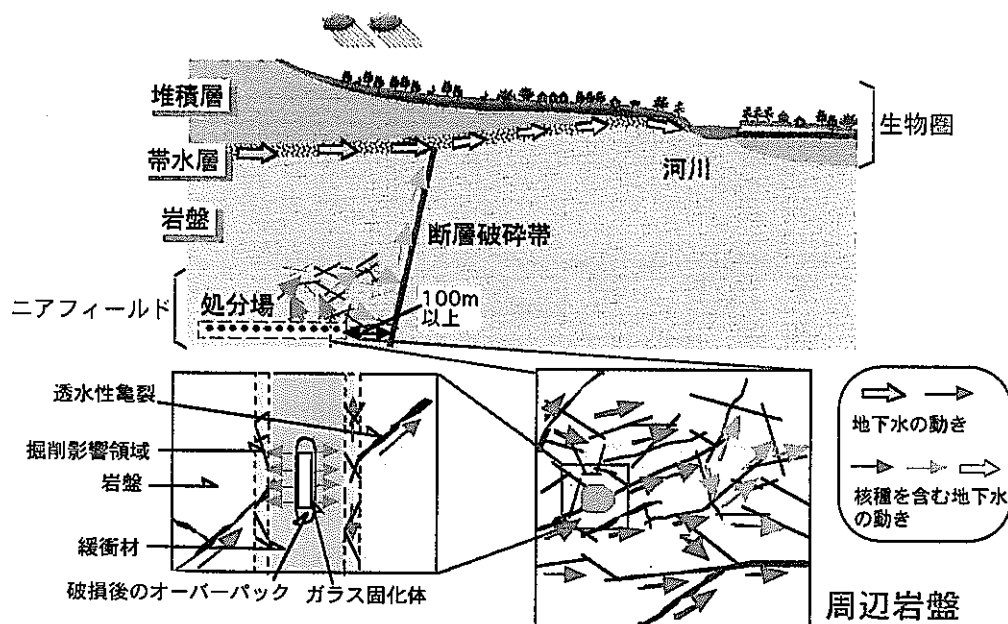


図-6 地下水シナリオレファレンスケースとモデル概念

開発された個々のモデルを接続し、線量を指標として地層処分システム全体の安全性能を評価するための安全評価モデルの基本体系を整えた。構築した安全評価手法を用いて 1 本のガラス固化体を対象としたレファレンスケースの解析を試行するとともに、他機関や外国で開発された解析コードと比較を行い、その手法が正しく機能することを確認した。

1 本のガラス固化体に対して計算を行う上記基本モデル体系は、地層処分の全体的な安全性を考える際には、処分場全体での地下水の動きや、個々のガラス固化体から溶出した放射性核種を含む地下水が相互に干渉することにより放射性核種の溶出・移行が抑制されるという効果などを考慮して現実的に適用されなければならない。例えば、人工バリアから断層破碎帯までの放射性核種の移行距離は、処分場全体での地下水の動きを考慮するとそれぞれのガラス固化体に対して一律同じものではなく、流れの上流側に位置するガラス固化体に対しては、移行距離が長くなり岩盤によるより大きなバリア効果を期待できる。このようなバリア効果を評価上考慮せず、40,000 本のガラス固化体を埋設することを想定した処分場に対して、1 本のガラス固化体についての結果を単に 40,000 倍するという過度に保守的な計算により、処分システム全体性能を評価した場合 (図-7) においても、線量の最大値は年間 0.01 μ Sv 程度となる。

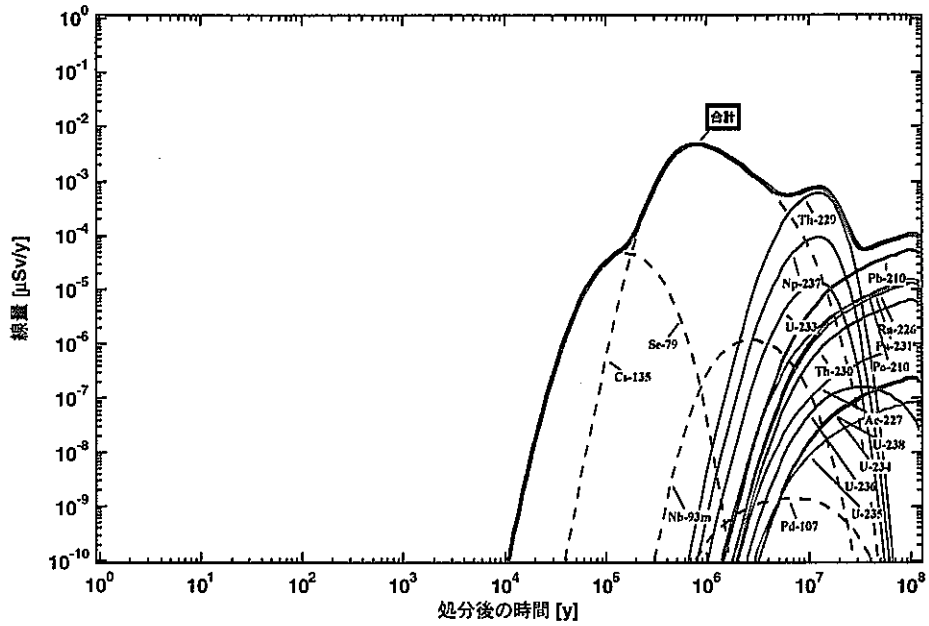


図-7 処分システムの全体性能評価の結果

またモデルやデータの不確実性ととも、わが国の幅広い地質環境を考慮することによる地質環境の多様性や処分場の設計のオプションを勘案して、地下水シナリオに対してシステム全体の安全性を評価するための解析ケースを設定した。上述した地層処分システムの安全評価モデルの基本体系を用い、40,000本のガラス固化体を埋設することを想定した処分場に対してこれらの解析を実施した結果、上述の不確実性やシステムのバリエーションを考慮しても、線量の最大値は例えば諸外国で示されている安全基準(0.1~0.3mSv/年)を下まわっていることが示された(図-8)。

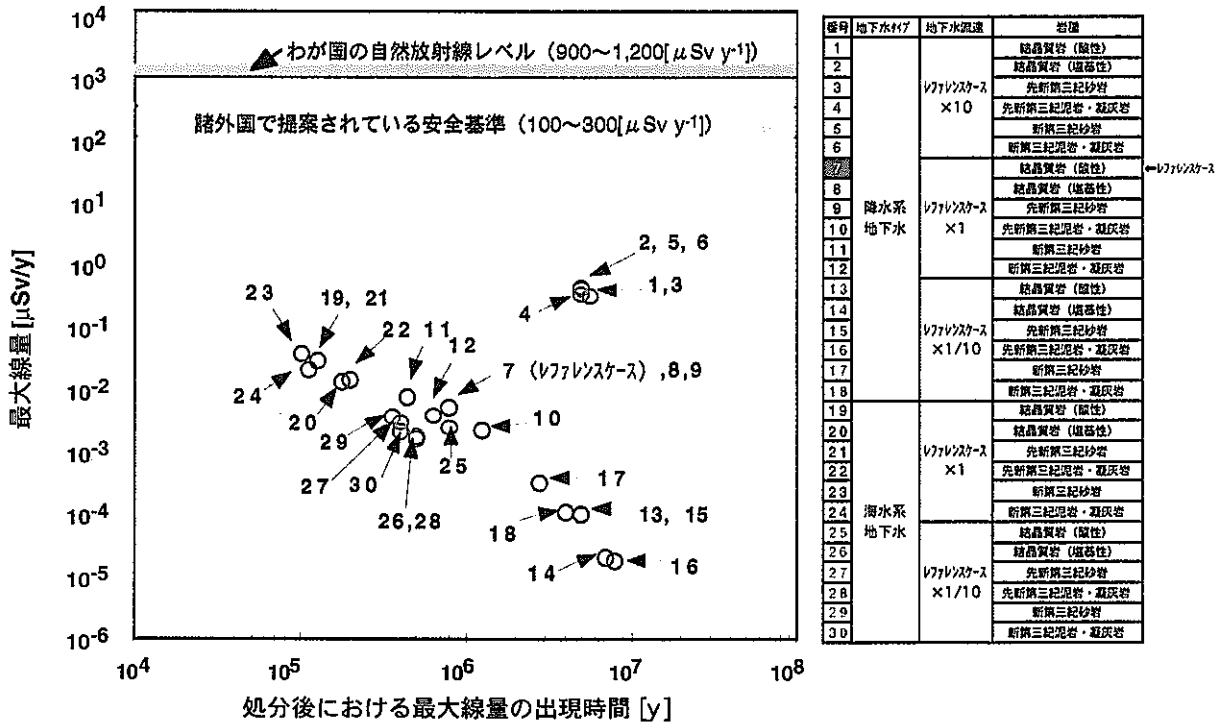


図-8 地層処分システムの全体性能の解析
地下水シナリオ (基本シナリオ) に対する最大線量の分布
(40,000本の廃棄体を処分する場合を想定)

講演者・座長・パネリスト紹介

◆講演者◆

青山 伸

科学技術庁 原子力局 廃棄物政策課長

1977年 新技術開発事業団入団

1993年 科学技術庁広報室長

1995年 同調査課長

1996年 同国際課長

1998年 現職

鈴木 正徳

通商産業省 資源エネルギー庁 原子力産業課長

1978年 通商産業省入省

1983年 工業技術院総務課エネルギー班長

1985年 大臣官房秘書課研修班長

1987年 機械情報産業局航空機武器課総括班長

1989年 資源エネルギー庁公益事業部計画課総括班長

1990年 大臣官房総務課法令審査委員

1992年 機械情報産業局新映像産業企画官

1994年 石油公団ワシントン事務所長

1997年 現職

鈴木 篤之

東京大学 工学部教授

東京大学工学部原子力工学科（現、システム量子工学科）卒。東京大学工学部助手、助教授を経て、1986年より東京大学工学部教授。工学博士。

専門は、原子力や核燃料サイクルのシステム科学。

原子力委員会原子力安全委員会専門部会委員、通商産業省科学技術庁原子力安全技術顧問等を務める。

◆座長◆

徳山 明

常葉学園富士短期大学 学長

1961年 東京大学大学院数物系研究科博士課程修了
理学博士

1961～70年 東京大学理学部、教養学部、地震研究所助手

1970～78年 静岡大学教育学部助教授を経て教授

1978年 付属静岡中学校長併任

1978～97年 兵庫教育大学教授（学部主事、付属図書館長併任）

1990～92年 兵庫教育大学副学長

1997年 現職

（委員会）

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会委員

原子力委員会高レベル放射性廃棄物対策分科会委員

原子力安全委員会核燃料安全専門審査委員

原子力安全委員会原子炉安全専門審査委員

地層処分研究協議会委員（専門検討部会座長）

◆パネリスト◆

楠瀬 勤一郎

通商産業省工業技術院 地質調査所 地震物性研究室長

1978年 東北大学大学院理学研究科地球物理専攻（地震学講座博士課程）修了
理学博士

1979年 通商産業省工業技術院 地質調査所入所

1987年 米国ロスアラモス国立研究所客員研究員

1994年 地質調査所環境地質部地震物性課長

1997年 地震物性研究室長（組織改編）

（委員会）

原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会委員 他

北山 一美

東京電力株式会社 原子力技術部 部長

1972年 東京工業大学大学院原子核工学専攻修了

東京電力株式会社入社

1986年 福島第一原子力発電所技術部技術課長

1988年 原子力発電部業務機械化担当課長→原子力技術課長

1992年 柏崎刈羽原子力発電所発電部長

1995年 原子力研究所原子燃料サイクル研究室長

1996年 原子力技術部副部長

1997年 原子力技術部原子燃料サイクルグループマネージャー（部長）

（委員会）

原子力委員会TRU核種を含む放射性廃棄物分科会

電気事業連合会原子力環境部会サイクル廃棄物処分検討委員会

電気事業連合会原子力環境部会環境保全懇談会

電気事業連合会原燃サイクル部会国内MOX燃料加工検討WG 他

村岡 進

日本原子力研究所 燃料サイクル安全工学部次長

1966年 大阪大学基礎工学部卒業

工学博士

1979年 カリフォルニア大学工学部原子力工学科ピッグフォード研究室にて

地層処分の性能評価研究に従事

1980年 日本原子力研究所 環境安全研究部にて地層処分の性能評価研究に従事

1985年 OECD/NEAにおいて放射性廃棄物処分に係わるデータベース開発
研究に従事

（委員会）

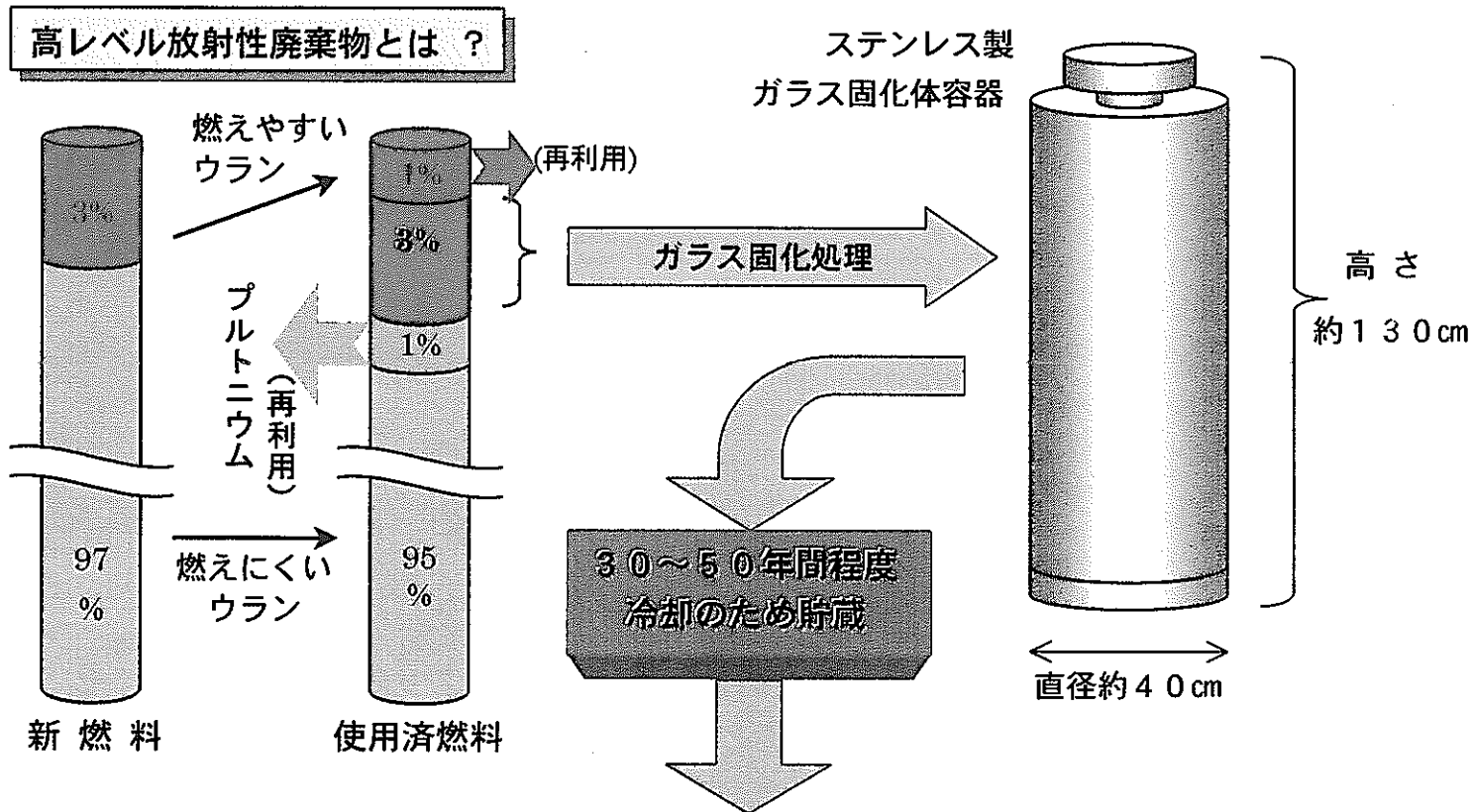
OECD/NEA放射性廃棄物管理委員会委員

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会TRU廃棄物分科会委員

參考資料

総合エネルギー調査会原子力部会中間報告 「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」のポイント

背景 <平成9年2月 閣議了解「当面の核燃料サイクルの推進について」>
 「処分の円滑な実施に向けて処分対策の全体像を明らかにする」
 <平成10年5月 原子力委員会「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」>
 「法律の制定を含めて今後、関係機関が進めるべき具体的な方策の策定に向けた基本的考え方や検討すべき点について提言」



◆ 諸外国の高レベル放射性廃棄物処分対策の進捗状況

主要国	実施主体	資金確保	地下研究施設
アメリカ	DOE 内部部局 1982年設置	電力会社が国の基金へ拠出 1983年開始	ユッカマウンテンで 1993年着手
フランス	ANDRA 1979年設立	電力会社引当金 1975年開始	ビュール地点を 1998年に選定
スウェーデン	SKB (の前身) 1976年設立	電力会社が国の基金へ拠出 1981年開始	リス島で 1990年着手
ドイツ	BfS (の旧主体) 1976年設立	電力会社引当金 1982年開始	ゴアレーベンで 1979年着手
スイス	未設立	電力会社引当金 1992年開始	グリゼルで 1983年着手
日本	未設立	未手当て	未着手

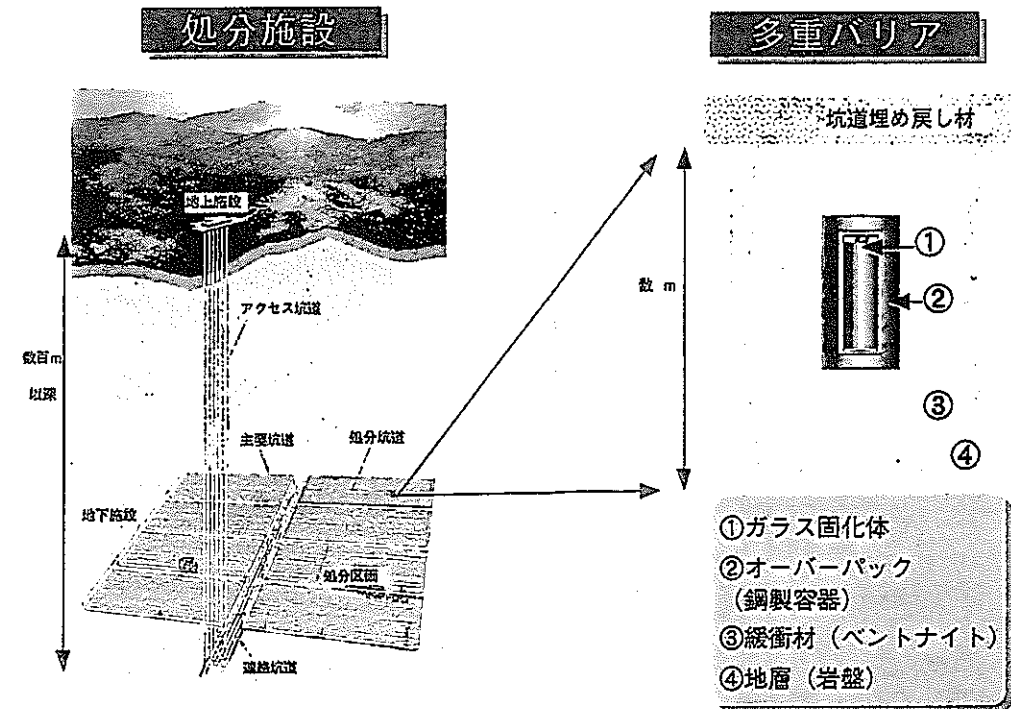
地層処分の概念

地層処分とは？ 高レベル放射性廃棄物を人間の生活環境から離れた深い地層中に安全に埋設することによって、人間環境に有意な影響が生じないようにする措置

高レベル放射性廃棄物の特徴

- 放射能の高い大部分の放射性物質は半減期が比較的短いため、数百年の間に急速に減少する。
- 量は多くないものの、半減期が数百年以上の長半減期核種を含む。

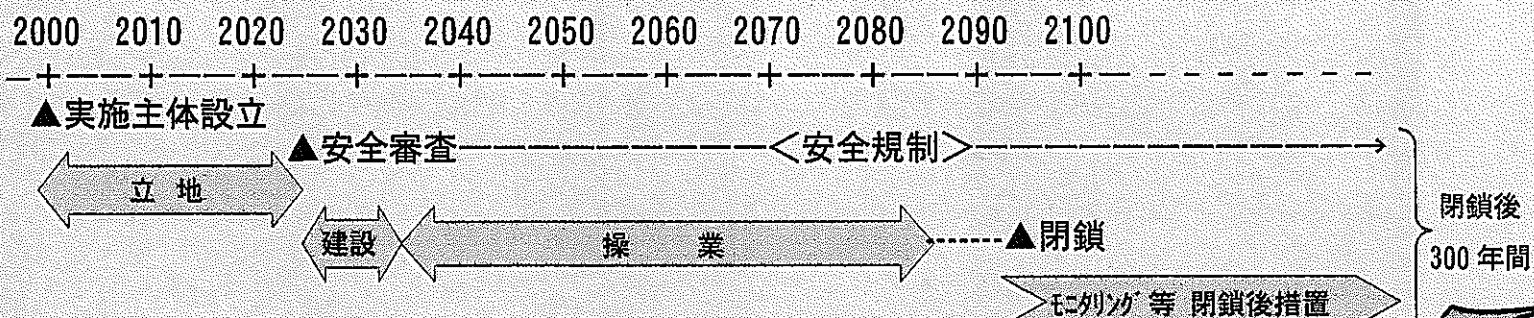
『多重バリアシステム』



参考 国内での発生量

使用済燃料ベース	ガラス固化体ベース	備考
累積発生量	約 10,300 本	—
海外再処理への搬出量	約 3,500 本	128 体が返還され貯蔵中
サイクル機構への搬出量	約 940 本	62 体が処理され貯蔵中
炉内装荷中の燃料(1/2 換算)	約 2,300 本	—
合計	約 12,600 本	190 体を国内で貯蔵中

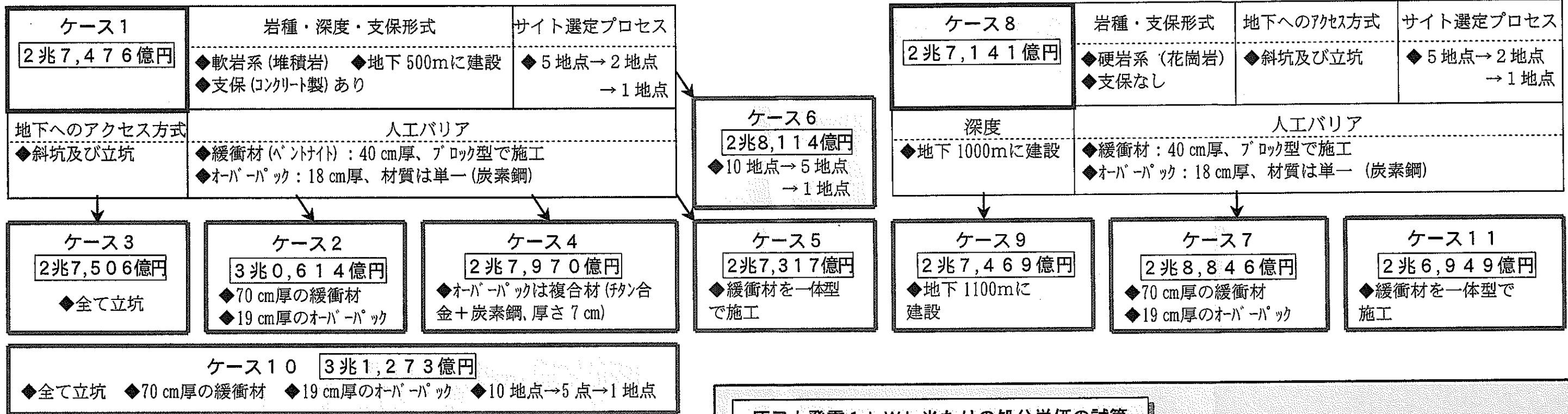
高レベル放射性廃棄物処分計画 《合理的見積りの前提》



《 処分費用とその負担の考え方 》

- 高レベル放射性廃棄物は、原子力発電を行うことに伴い必ず発生するもの。
- 原子力発電を享受している現世代が当該発電から発生する高レベル放射性廃棄物の処分費用を負担することは、世代間の負担の公平性からも必要かつ妥当。
- 他の廃棄物と同様に、消費に伴う便益を受けた世代が考え得る限りの対応をしておかねばならないものであり、発電段階において費用を手当てすることが基本。

《 処分費用試算結果 (約2.7兆円～3.1兆円) 》 (スケールメリットを考慮し、一施設ガラス固化体4万本を想定)



原子力発電1kWh当たりの処分単価の試算

割引率	なし	2%	3%	4%
処分単価	26~30 銭/kWh	12~14 銭/kWh	9~11 銭/kWh	7~9 銭/kWh

(注)資金手当て開始時点以前に発電した電力量に係る処分費用について、資金手当て開始から10年間で手当てするとした場合、処分単価は上記の値の概ね2倍程度と試算される。

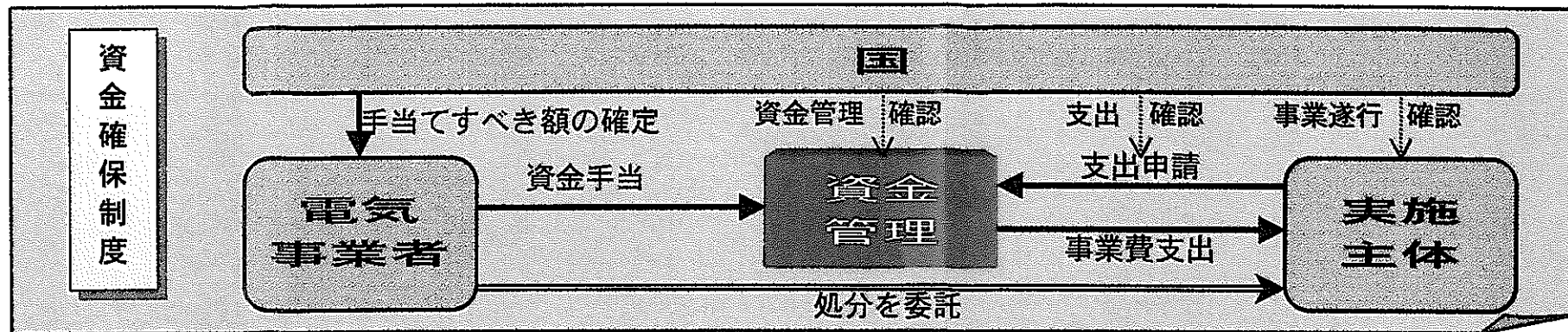
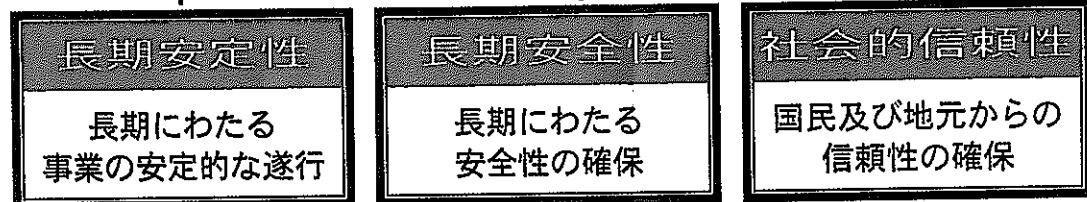
コスト要因の分析

コスト要因	変動幅	見積りへの反映等
主に研究開発の進展により、技術的に一層の最適化が可能な条件	最大約 11%	今後の研究開発の進捗状況等を踏まえ、適宜費用の見積りへの反映を検討することが適当
主に具体的な処分予定地の物理的状況により確定する条件	最大約 6%	代表的ケースを平均した値を資金確保制度の基本となる合理的見積りとするのが適当

《合理的見積りと資金手当ての開始時期》

- 処分費用の手当ては早急に開始されるべきであり、遅くとも実施主体の設立時まで、合理的見積りに基づき手当てを開始することが適当。
- 設計仕様の最適化に関係する技術的事項が含まれるサイクル機構「第2次取りまとめ」がまとめられた時点(平成11年末予定)で、処分費用への反映を検討し、合理的見積りを確定した上で手当てを開始すべき。
- 資金手当て開始時点以前に発電した電力量に係る処分費用についても、手当て開始後適切な期間において手当てを行うことが適当。

高レベル放射性廃棄物処分事業に求められる基本的要件



国	電気事業者	実施主体
<p>◆処分事業に必要な要件を法律によって制度的に担保。</p> <p>①基本計画の策定 ②資金確保制度の制定</p> <p>③技術的能力、経理的基礎等実施主体の要件を法的に担保</p> <p>④実施主体の事業計画の承認</p> <p>⑤安全規制等に関する技術開発</p> <p>⑥安全審査・設置許可 ⑦安全管理監督</p> <p>⑧地下利用制限等その他規制</p> <p>⑨事業終了後の安全責任の継承</p> <p>⑩不測の事態への制度的対応 ⑪記録の保持 他</p> <p>◆その他、以下のような役割が重要。</p> <p>○国が前面に立った政策の説明</p> <p>○地域との共生策（財政的支援等）</p> <p>○立地自治体との緊密な連絡調整</p> <p>○事業終了時の最終的な安全確認と安全責任の継承 他</p>	<p>◆事業活動に伴って生じた高レベル放射性廃棄物が安全に処分されるまで、廃棄物の発生者としての基本的な責任を有す。</p> <p>◆国の制度の下、以下のような役割が重要。</p> <p>○原子力発電の費用として資金を確実に手当て</p> <p>○実施主体への人的・技術的支援と所要の協力</p> <p>○実施主体と一体となった地域共生策 他</p>	<p>◆あらかじめ手当てされた資金を計画的かつ合理的に支弁し、事業を確実に安全に遂行する責務を有す。</p> <p>◆地域共生においては、地域社会の一員として認知され信頼されることが不可欠。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>《実施主体の要件》</p> <p>○技術的能力 ○経理的基礎 ○運営・管理能力</p> <p>○非営利性 → 財務及び税務への的確な対応</p> <p>○解散に対する歯止め</p> </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">特別法に基づく国の関与が必要 所要の要件を法的に担保</p>

事業段階に応じた国・実施主体・電気事業者の役割のイメージ

	設 立	立 地	安全審査	操 業	閉鎖後	事業終了後
国	<ul style="list-style-type: none"> ○基本計画の策定 ○法律に基づく担保 <要件>・技術的能力・経理的基礎 等 ○事業計画の承認 	<ul style="list-style-type: none"> ○理解促進活動・地元住民への説明 	○ 安全規制	○ 安全規制 (地下利用制限等含む)		<ul style="list-style-type: none"> ○安全責任の継承 ○地下利用制限 等
実施主体	<ul style="list-style-type: none"> ○設立準備 ・人材確保 ・組織 	<ul style="list-style-type: none"> ○地元自治体との調整 (他の段階においても十分な調整を行う) 	<ul style="list-style-type: none"> ○安全性実証 ○安全審査申請 	○ 安全管理	<ul style="list-style-type: none"> ○安定操業 ○モニタリング 	---
電気事業者		<ul style="list-style-type: none"> ○地域振興策・長期的共生策 	<ul style="list-style-type: none"> ○安全性実証 	<ul style="list-style-type: none"> ○ガラス固化体搬入・輸送の安全確保 	---	---